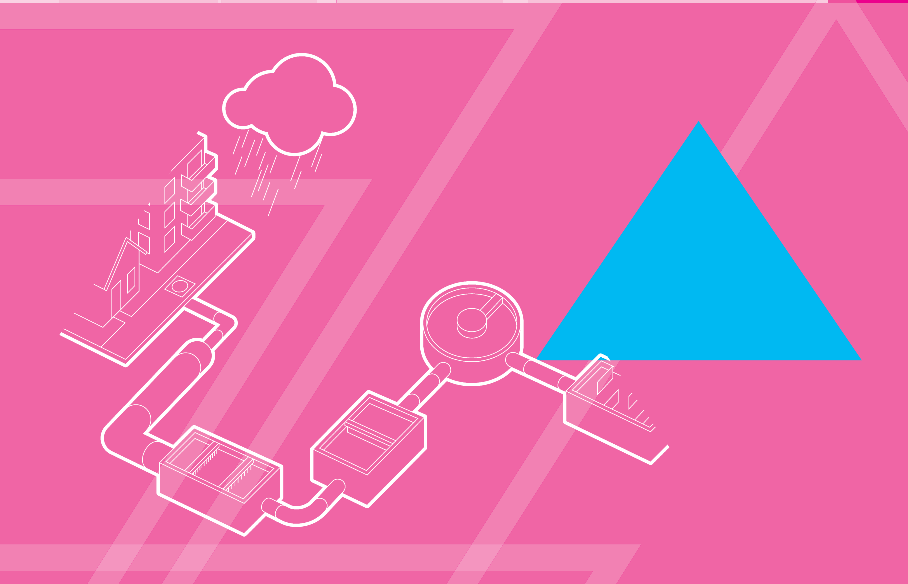
LA CITÉ DE L'EAU
ET DE L'ASSAINISSEMENT



L'assainissement des eaux usées en agglomération parisienne : principes et procédés



LIVRET PÉDAGOGIQUE



Service public de l'assainissement francilien
www.siaap.fr



Préambule

L'assainissement se définit comme l'ensemble des techniques de collecte, de transport et de traitement des eaux usées permettant de rejeter des eaux épurées dans le milieu naturel. Développer le thème de l'assainissement amène à dépasser la technique mise en œuvre, c'est une porte d'entrée vers les thèmes de l'aménagement du territoire, de l'écologie ou encore de l'histoire des sociétés autour de l'eau. C'est un levier pour la compréhension des interactions entre l'Homme et les éléments de la planète. Chacun de nous est acteur de la gestion de l'eau et agit de façon d'autant plus responsable qu'il en comprend les mécanismes.

Soucieux de participer à l'effort global de responsabilisation écologique des citoyens, notamment des plus jeunes, et désireux de répondre aux attentes des enseignants, le SIAAP propose une collection de livrets pédagogiques offrant une approche complète de l'assainissement : Les livrets de La Cité de l'Eau et de l'Assainissement.

LA COLLECTION *LES LIVRETS DE LA CITÉ DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT*

Après *L'assainissement en région parisienne et la préservation des milieux aquatiques*, livret édité en 2009 et conçu pour les écoles élémentaires, le SIAAP propose un outil destiné aux enseignants du secondaire de la région parisienne. Les mêmes thèmes (cycle technique de l'eau, épuration des eaux usées, protection des milieux aquatiques) sont ici approfondis et ordonnés selon différentes disciplines, toujours en s'appuyant sur les caractéristiques de l'Île-de-France et du bassin de la Seine, territoires où œuvre le Syndicat.
Pour le niveau secondaire, la collection comporte quatre volumes thématiques, utilisables au collège et au lycée :

§ **Géographie :**
L'assainissement, des enjeux globaux, une gestion locale
§ **Histoire :**
De Lutèce à l'agglomération parisienne, 2 000 ans d'assainissement
§ **Sciences de la vie et de la Terre :**
Les enjeux écologiques de l'assainissement en région parisienne
§ **Physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, technologie :**
L'assainissement des eaux usées en agglomération parisienne : principes et procédés

Si ces ouvrages sont destinés à être consultés par l'enseignant de la discipline étudiée, *Les livrets de La Cité de l'Eau et de l'Assainissement* n'en restent pas moins l'outil d'une approche transdisciplinaire du thème de l'assainissement. Des pastilles de couleur "Pour aller plus loin", intégrées dans le corps du texte, signalent à cet effet les éléments développés dans un autre livret de la collection.







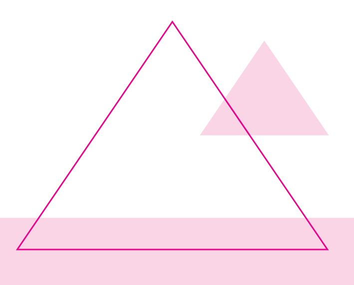
LE LIVRET SCIENCES ET TECHNIQUES : L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USÉES EN AGGLOMÉRATION PARISIENNE : PRINCIPES ET PROCÉDÉS

POURQUOI ÉTUDIER L'ASSAINISSEMENT EN PHYSIQUE-CHIMIE, SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE, ET TECHNOLOGIE ?

L'assainissement est le terme générique pour la gestion des eaux polluées par l'activité humaine. Il recouvre des procédés physiques, chimiques et biologiques et des technologies variées pour assurer la collecte, le transport et le traitement des eaux dites usées.

L'assainissement est un domaine technique et scientifique relativement récent dans l'histoire de l'humanité. Si les plus anciens vestiges d'égouts, attribués à la civilisation de la vallée de l'Indus, datent de plusieurs milliers d'années, les premières expérimentations d'épuration des eaux usées datent de la fin du XIXe siècle. Les avancées scientifiques et technologiques au cours des dernières décennies sont particulièrement saisissantes. Cette évolution rapide explique en partie les choix techniques différents des stations d'épuration de l'agglomération parisienne, profitant des progrès technologiques mis à disposition.
Les avancées scientifiques et technologiques ont été contraintes et accélérées par une réglementation française et européenne de l'eau de plus en plus exigeante. La législation visait dans un premier temps à améliorer la qualité de l'eau pour la protection de la santé humaine face aux risques sanitaires graves liés aux eaux usées. Une fois ces risques contenus, la réglementation sur l'eau a pris une dimension environnementale et s'est attachée à la préservation des milieux aquatiques dans lesquels l'eau épurée par les stations d'épuration est déversée. Par conséquent, la qualité de l'eau rejetée dans les cours d'eau s'améliore continuellement grâce à des rendements épuratoires sans cesse en progrès.
D'autres contraintes guident les choix technologiques liés à l'assainissement : le contexte géographique local, les moyens financiers disponibles, ainsi que les exigences sociétales. Longtemps synonymes de nuisances, notamment olfactives, les stations d'épuration doivent désormais répondre aux exigences des populations riveraines qui souhaitent préserver leur cadre de vie. Le traitement des boues d'épuration, des fumées et des odeurs nécessite des technologies tout aussi complexes que celles du traitement des eaux.

Ce livret s'attache à expliquer les mécanismes particulièrement complexes mis en œuvre dans l'assainissement, domaine bien souvent méconnu.
Avant d'étudier les procédés d'assainissement, il est indispensable de connaître les caractéristiques des eaux usées. La première partie de ce livret propose une description des pollutions et des paramètres qui permettent de les mesurer.
Les procédés scientifiques sont ensuite détaillés dans les parties suivantes, ainsi que les techniques d'épuration des eaux, des boues et des odeurs. Parallèlement, ces techniques sont exposées de manière plus concrète à travers la présentation des équipements du SIAAP, le service public d'assainissement de l'agglomération parisienne.



LE SIAAP, SERVICE PUBLIC DE L'ASSAINISSEMENT FRANCILIEN

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne est un établissement public qui dépollue chaque jour les eaux usées de plus de 9 millions de Franciliens, ainsi que les eaux industrielles et pluviales de l'agglomération parisienne. Une eau propice au développement du milieu naturel est ainsi rendue à la Seine et à la Marne.



© SIAAP

La Cité de l'Eau et de l'Assainissement, centre de formation et de documentation du SIAAP situé à Colombes (92), s'est engagée, par l'intermédiaire de son service de médiation pédagogique, dans une démarche d'éducation au développement durable. Sa mission est de sensibiliser les élèves de tous niveaux aux enjeux de la préservation de la ressource en eau et des milieux aquatiques, et de leur enseigner les mécanismes de l'assainissement. Elle propose également des formations aux étudiants sur les techniques de transport et de traitement des eaux usées.

LE SIAAP EN QUELQUES CHIFFRES

- 4 départements constitutifs (Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne)
- 286 communes (sur les huit départements d'Île-de-France)
- 9 millions de Franciliens concernés par l'épuration de leurs eaux usées
- 6 stations d'épuration
- 440 km de réseaux
- 2 000 km^2 de territoire de collecte
- 2,5 millions de m^3 d'eaux usées traitées quotidiennement, soit l'équivalent de 700 piscines olympiques remplies chaque jour d'eaux usées.



© SIAAP

Mode d'emploi du livret Sciences et techniques et insertion dans les programmes

Le corps du livret est destiné aux enseignants de physique-chimie, de sciences de la vie et de la Terre et de technologie au collège et au lycée. L'enseignant y trouvera un contenu informatif consacré à l'assainissement des eaux usées et aux stations d'épuration de l'agglomération parisienne. Au fil du texte, des encadrés permettent d'approfondir certains points sur **la législation (en orange),** sur **des aspects techniques (en rose), relatifs au SIAAP (en violet)** et sur **les gestes écocitoyens liés à l'assainissement (en bleu).**

Les thèmes y sont traités de façon à reprendre une partie des programmes de ces disciplines pour les différents niveaux. Les tableaux ci-dessous mettent en relation les sujets développés dans le livret avec les programmes du **collège** : de la 5e à la 3e en physique-chimie, de la 6e et de la 3e en SVT (mais des quatre niveaux dans le livret sur les enjeux écologiques de l'assainissement en région parisienne) et de la 5e en technologie[1].

Physique-Chimie

LE PROGRAMME	LE LIVRET	
Partie	**Propos**	**Chapitre**
5e		
I L'eau dans notre environnement – Mélanges et corps purs	L'eau est omniprésente dans notre environnement. On peut décrire l'hydrosphère et le cycle de l'eau naturel en illustrant les transferts entre les différents compartiments. On peut également étudier le cycle domestique (ou urbain) de l'eau, créé par l'Homme pour subvenir à ses besoins.	I. B. 1
	L'eau peut contenir des gaz dissous dans l'eau (O_2 et CO_2).	I. B. 2
	L'eau est un solvant universel qui dissout très mal les graisses. Cela est exploité en assainissement, plus précisément à l'étape du **dégraissage** pendant le prétraitement afin d'extraire les matières grasses des eaux usées.	III. A. 4
	On distingue deux types de mélanges aqueux : les mélanges homogènes (éléments dissous) et hétérogènes (matières en suspension). Les matières en suspension sont partiellement décantables ; celles qui le sont sont retirées lors des traitements de "**décantation**". C'est l'occasion de tracer un schéma de décantation et/ou de réaliser un montage de décantation.	III. B.
	Les matières dissoutes sont extraites lors des **traitements biologiques et tertiaires.**	III. C. - D.
4e		
I De l'air qui nous entoure à la molécule	L'air est composé principalement de deux gaz : dioxygène et diazote. Néanmoins, d'autres molécules peuvent être présentes en quantité variable et avoir des conséquences en termes de santé et d'odeurs. Les stations d'épuration s'appliquent à réduire ces nuisances.	V.
3e		
I La chimie, science de la transformation de la matière	Les métaux sont utilisés dans la vie quotidienne et se retrouvent dans l'eau (eaux usées industrielles, domestiques et pluviales, mais aussi rivières).	I. B. 2.
	On trouve dans l'eau une très grande variété d'ions. L'étude des pollutions de l'eau est l'occasion de citer les ions fréquemment nommés dans les sources d'information, y compris dans la publicité (nitrates, phosphates, etc.).	

1/ Programmes issus du Bulletin officiel n° 6 du 28 août 2008 (ministère de l'Éducation nationale).

Sciences de la vie et de la Terre

LE PROGRAMME	LE LIVRET	
Partie	**Propos**	**Chapitre**
6^{e}		
IV Des pratiques au service de l'alimentation humaine	L'Homme utilise des micro-organismes et pratique certaines transformations biologiques afin de répondre à ses besoins : pour son alimentation (fermentation), mais aussi pour l'épuration de ses eaux usées.	III. C.
V Diversité, parentés et unité des êtres vivants	L'étude des micro-organismes utilisés en assainissement permet d'observer les constituants de la cellule, unité d'organisation des êtres vivants.	
3^{e}		
III Risque infectieux et protection de l'organisme	Différents types de micro-organismes peuvent pénétrer dans notre organisme (notamment des bactéries et des virus), mais ils ne sont pas tous pathogènes. On en trouve un grand nombre dans les eaux usées domestiques.	III. C.
IV Responsabilité humaine en matière de santé et d'environnement	Les activités humaines sont responsables de plusieurs types d'altérations des milieux aquatiques en région parisienne. L'industrie et l'agriculture, mais aussi les populations sont responsables de la dispersion de nombreux polluants dans l'environnement, affectant les espèces riveraines des cours d'eau.	I. B.
	La protection des milieux aquatiques est un enjeu majeur et est aujourd'hui prise en compte par la législation. Les milieux font l'objet d'un suivi ; il existe plusieurs indices biologiques afin de mesurer leur altération.	I. A. 1.

LE PROGRAMME	LE LIVRET	
Partie	**Propos**	**Chapitre**
5e Cycle central (habitat et ouvrages)		
I **L'analyse du fonctionnement d'un objet technique**	Différentes solutions techniques pour répondre à une même fonction de service, l'assainissement des eaux usées : - WC et latrines pour la collecte - station d'épuration et assainissement non collectif pour l'assainissement. Analyse des contraintes (fonctionnement, sécurité, développement durable) propres à chaque solution technique. Influence du contexte socio-économique. Traduction sous forme de croquis (organisation et fonctions).	I. A. 1. II. A. 1.
II **Les matériaux utilisés**	Matériaux utilisés dans une station d'épuration (fiche travaux de l'ouvrage DERU à SAV).	VI. D.
III **Les énergies mises en œuvre**	Énergies pour le fonctionnement d'une station d'épuration, notamment énergies renouvelables produites sur place (biogaz, photovoltaïque, récupération de chaleur, force hydraulique).	IV. B. 1. VI. B. 2.
IV **L'évolution de l'objet technique**	Évolution de l'assainissement dans un contexte historique et socio-économique (lien avec le livret histoire), évolution des usages et des besoins (augmentation de la consommation d'eau, diversification des usages, multiplication des polluants, durcissement des réglementations). Évolution des techniques d'assainissement et des procédés d'épuration : autoépuration naturelle, épandage, fosse avec vidanges, station d'épuration en bassins ouverts, station d'épuration moderne, compacte et confinée, intégrant certains critères du développement durable.	I., VI. B. 2., livret histoire
V **La communication et la gestion de l'information**	Réflexion sur la gestion de l'information dans une station d'épuration et dans les réseaux d'égouts (description du logiciel Mages du SIAAP).	VI. A. 4. VI. B. 2. (SEG)
VI **Les processus de réalisation d'un objet technique**	Réalisation d'une maquette de station d'épuration.	VI. C.

Pour le **lycée,** il existe une très grande diversité de programmes du fait des types de lycée (général, technologique et professionnel), des différentes séries existantes et des options proposées. Cette variété ne nous permet pas de présenter de manière exhaustive les relations entre les programmes et les livrets sur l'assainissement dans un tableau comme cela est fait pour le collège. Toutefois, voici quelques repères.

En **seconde,** les notions "d'espèce chimique", de "réaction chimique" et de "solution" sont appréhendées dans des contextes variés ; la caractérisation des pollutions de l'eau et les principes d'épuration des eaux usées sont des supports tout à fait adaptés à leur étude. Durant cette même année, certains **enseignements d'exploration** sont l'occasion de découvrir les activités professionnelles relatives à l'assainissement : principes scientifiques et procédés industriels d'épuration de l'eau, qualité et sécurité dans une station d'épuration, analyses de l'eau en laboratoire, conception d'équipements répondant aux exigences du développement durable, préservation de la santé et besoin sociétal de l'eau (Biotechnologies, Création et innovation technologiques, Méthodes et pratiques scientifiques, Santé et social, Sciences de l'ingénieur, Sciences et laboratoire).

En **première S**, la partie de **physique-chimie** consacrée aux défis de la science au XXIe siècle aborde le thème de la culture scientifique et technique, et ses interactions avec la société. À cette occasion, il est préconisé d'étudier des exemples d'entreprises et de métiers de l'activité scientifique, nous vous proposons d'approfondir la démarche scientifique d'un service public d'assainissement.

En **terminale S**, le programme de physique-chimie montre l'importance des activités du chimiste dans le monde contemporain ; l'enseignement de spécialité associé à ce thème permet de travailler sur les contrôles de qualité, notamment ceux de l'eau. Les **sciences de l'ingénieur en première et terminale S** ont pour principe de base la pluridisciplinarité, concept également mis en avant dans cette collection de livrets. Cet enseignement, ainsi que les travaux personnels encadrés, peuvent s'appuyer sur le domaine du traitement de l'eau.

Plusieurs enseignements des **séries technologiques** (et leurs spécialités) sont susceptibles de s'appuyer sur les principes et procédés de l'épuration : **sciences physiques et physique appliquée** de la série **STI** (sciences et technologies industrielles), **physique-chimie** de la série **STL** (sciences et technologies de laboratoire).

Les **sciences de la vie et de la Terre** ont également une place importante dans ce livret dans le chapitre sur les traitements biologiques.

Sommaire

I. Cadre général de l'assainissement

L'assainissement comprend l'ensemble des techniques permettant de collecter, de transporter et de traiter les eaux usées[2].

Il faut distinguer **l'assainissement collectif**, dans lequel des ouvrages sont mis en commun pour transporter et traiter les eaux usées, et **l'assainissement non collectif,** également appelé "assainissement individuel ou assainissement autonome", où la collecte et le traitement sont propres à chaque habitation.



A. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE ET GÉOGRAPHIQUE

1/ ASSAINISSEMENT EN FRANCE

La **gestion de l'eau** – production et distribution d'eau potable, assainissement des eaux usées – est une **compétence des communes.** Ainsi, ces dernières peuvent l'assurer elles-mêmes ou transférer une ou plusieurs compétences à un **groupement de communes** (communauté de communes, communauté d'agglomération, communauté urbaine, syndicat intercommunal pour l'eau). On parle d'Établissement public de coopération intercommunale (EPCI). En France, il y a environ 34 000 services d'eau et d'assainissement assurant la production et la distribution d'eau potable et/ou tout ou partie de la collecte, du transport et du traitement des eaux usées.

La commune, ou le groupement auquel elle appartient, peut de même décider d'effectuer ce service elle-même, c'est le système dit de la **"régie".** Si elle le délègue à une entreprise à capital privé ou public, on parle alors de **"délégation du service public"** (concession, affermage ou régie intéressée).

Du point de vue **législatif,** l'assainissement des eaux usées en France est principalement régi par deux directives européennes et les lois françaises sur l'eau *(encadré ci-dessous sur les contraintes de traitement des eaux usées dans la législation sur l'eau).* Toutefois, au même titre que pour les rejets aqueux, il existe une législation sur les rejets atmosphériques, pouvant résulter d'une incinération *(encadré sur l'incinération des boues d'épuration page 58)* ou d'une désodorisation *(page 61)*, ainsi que sur la gestion des sous-produits de l'épuration.

Les contraintes de traitement des eaux usées dans la législation sur l'eau

Les professionnels de l'assainissement sont régulièrement confrontés à de nouvelles normes pour la préservation de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, qui requièrent des investissements massifs.

> Les directives européennes constituent les principales contraintes réglementaires.

*• **Directive eaux résiduaires urbaines – DERU (1991)** (91/271/CEE)*
La DERU a pour objectif d'empêcher la détérioration de l'environnement par le rejet des eaux usées dans le milieu naturel. Pour cela, elle impose la collecte et le traitement des eaux usées dans toutes les agglomérations[4]. De plus, la DERU demande d'identifier des "zones sensibles" sujettes à l'eutrophisation et d'y mettre en œuvre des traitements plus

2/ Article 1er du décret du 03/06/1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées mentionnées aux articles L. 372-1-1 et L. 372-3 du Code des communes.
3/ Source : ONEMA, Office national de l'eau et des milieux aquatiques.
4/ Ensemble d'habitations raccordées à un réseau d'assainissement.

rigoureux (encadré page 37). Selon la taille de l'agglomération et la sensibilité du milieu naturel, la directive fixe un niveau de traitement des eaux usées et des dates limites de respect des normes (1998, 2000 et 2005).

Zone de rejet	Taille de l'agglomération	Type de traitement à mettre en place	Echéance
sensible	> 10 000 EH[5]	traitement biologique + azote et/ou phosphore	1998
normale	> 15 000 EH	traitement biologique	2000
toute zone	> 2 000 EH	traitement biologique	2005
toute zone	< 2 000 EH	traitement approprié	2005

La France a pris du retard dans la mise en conformité de ses stations d'épuration, et les échéances successives n'ont pas été respectées (522 installations non conformes à la fin de l'année 2006, dont 146 de plus de 10 000 EH). Elle a donc été durant plusieurs années sous la menace de sanctions financières, pouvant atteindre plusieurs centaines de millions d'euros, par l'Union européenne. Avec le lancement de deux plans nationaux de modernisation du parc français des stations d'épuration (2007-2012 pour les plus grosses stations et 2012-2018 pour les moyennes et petites stations), la mise en conformité avec la DERU devrait s'achever avant la fin de l'année 2013[6]. Le plan 2012-2018 répond également aux exigences de plusieurs autres directives fixant des objectifs de qualité des milieux ou des usages de l'eau.

- **Directive cadre sur l'eau (DCE)** (2000/60/CE)

La DCE donne pour objectif d'atteindre un bon état écologique des eaux superficielles et souterraines d'ici à 2015 et définit des projets pour la préservation et la restauration des eaux. Entre la DERU et la DCE, la législation est passée d'une obligation de moyens à une obligation de résultats.

- **Directive concernant la qualité des eaux de baignade** (2006/7/CE)
- **Directive relative à la qualité requise des eaux conchylicoles** (2006/113/CE)
- **Directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM)** (2008/56/CE)

> **Deux lois** apportent quelques compléments relatifs à la législation française.

- **Loi sur l'eau (1992)**

Cette loi impose que, en 2005, tout lieu d'habitation soit raccordé à un système d'assainissement par le biais de systèmes d'assainissement collectif ou non collectif.

- **Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA - 2006)**

La LEMA reconnaît la compétence des départements, et plus seulement des communes, pour assurer l'assainissement collectif des eaux usées (c'est le cas, unique en France, du SIAAP) ; elle met en place un fonds de garantie lié à l'épandage des boues d'épuration et crée une taxe pour la collecte, le transport, le stockage et le traitement des eaux pluviales (non abouti en 2012).



> La notion de bassin versant dans la législation sur l'eau



> La protection des écosystèmes aquatiques dans la législation sur l'eau



> La protection de la santé dans la législation sur l'eau

5/ Équivalent-Habitant (EH) : unité de mesure basée sur la quantité de pollution organique émise par jour et par habitant. Elle permet d'évaluer la capacité de traitement d'une station d'épuration. 1 EH = 60 g de DBO_5 / jour. Cette notion est expliquée page 20.
6/ Estimation de Bruno Rakedjian, chef de projet ERU au ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie, environnement-magazine.fr, 03/10/11.

Du point de vue technique, l'assainissement des eaux usées peut se décomposer en deux grandes classes : **l'assainissement collectif et l'assainissement non collectif. 79 %** de la population française est raccordée à un réseau d'assainissement collectif conduisant à une station d'épuration. Le terme désormais consacré est **Station de traitement des eaux usées** (STEU). En 2011[7], on comptait **19 300** stations de traitement des eaux usées pour une capacité totale de 76 millions d'équivalents-habitants[8]. Ce nombre est bien supérieur au nombre de personnes concernées (environ 52 millions) car il représente la charge polluante globale traitée dans les stations et comprend notamment les eaux industrielles. Les 1 000 plus grosses STEU représentant à elles seules 50 millions EH. Cet émiettement des moyens épuratoires sur le territoire est dû à l'absence de regroupement dans les zones rurales. Les petites communes ont souvent leurs propres réseaux et station d'épuration, en raison du coût des réseaux, tandis que les habitats à plus forte densité humaine font converger leurs canalisations vers quelques stations d'épuration de plus grande capacité.

Le Code de la santé publique[9] oblige les propriétaires des habitations donnant sur une voie publique surplombant un réseau de collecte à s'y raccorder. De son côté, la collectivité en charge de l'assainissement assure un service de collecte et de transport des eaux usées en échange d'une participation sous forme de redevances[10] perçues par le biais de la facture d'eau.

L'assainissement non collectif

Treize millions de Français ne disposent pas d'un système d'assainissement collectif sur le lieu de résidence, en revanche leur habitation doit être dotée d'un système d'assainissement individuel. La France est le premier pays européen en nombre d'ouvrages d'Assainissement non collectif (ANC) avec quelque 5 millions d'ouvrages. Ce secteur a été réorganisé par la loi sur l'eau de 1992, avec la création de services publics d'assainissement non collectif (SPANC). Les communes ou groupements intercommunaux qui ne disposent pas de système d'assainissement collectif doivent mettre en place un SPANC (échéance au 31 décembre 2005)[11].

Le retard pris par les collectivités dans la création des SPANC a conduit à la publication en 2009 de trois arrêtés qui renforcent leurs compétences. Les communes doivent obligatoirement identifier les zones relevant de l'ANC de celles relevant de l'assainissement collectif, contrôler les installations d'ANC existantes, mettre en place un contrôle périodique et, enfin, établir un document certifiant le bon fonctionnement de l'ouvrage ou, au contraire, requérant des travaux. Pour cela, elles perçoivent une redevance.

Les communes ont aussi des compétences facultatives, qu'elles décident ou non de prendre : travaux de réalisation et de réhabilitation, traitement des matières de vidange, établissement de prescriptions techniques pour les études de sol ou le choix de la filière.

7/ Le ministère de l'Écologie propose un portail sur l'assainissement, plus spécifiquement sur le traitement des eaux usées. http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr
8/ Équivalent-Habitant (EH) : unité de mesure basée sur la quantité de pollution organique émise par jour et par habitant. Elle permet d'évaluer la capacité de traitement d'une station d'épuration. 1 EH = 60 g de DBO_5 / jour. Cette notion est expliquée page 20.
9/ Article L1331-1 du Code de la santé publique.
10/ Article L 1331-7-1 du Code de la santé publique.
11/ http://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr
12/ Données INSEE : 11,73 millions d'habitants en Île-de-France au 1er janvier 2009.

2/ ASSAINISSEMENT EN AGGLOMÉRATION PARISIENNE

L'Île-de-France est un cas particulier dans le secteur de l'assainissement en France. S'il y existe **530 stations de traitement des eaux usées** pour environ 12 millions de Franciliens[12], leur répartition au sein des départements de la région se révèle surprenante.

Petite couronne :
- Paris : 0
- Hauts-de-Seine : 1 (SIAAP)
- Seine-Saint-Denis : 2 (SIAAP)
- Val-de-Marne : 1 (SIAAP)

Grande couronne :
- Seine-et-Marne : 284
- Yvelines : 140 (dont 2 SIAAP)
- Essonne : 60
- Val-d'Oise : 42

Le territoire francilien peut ainsi être scindé en deux entités : la grande couronne qui présente les deux systèmes d'assainissement – collectif (avec 526 stations d'épuration) et non collectif – et la petite couronne qui est exclusivement **raccordée à un système commun d'assainissement collectif** et ne compte que quatre stations d'épuration. En fait, le territoire central de la région parisienne, caractérisé par un tissu urbain dense, s'étend au-delà des quatre départements de la petite couronne. Communément appelé **agglomération parisienne**, il correspond à **la zone d'action du SIAAP.** Six grandes stations d'épuration, les usines du SIAAP, y assurent le traitement des eaux usées de **72 % de la population francilienne,** soit **8,6 millions d'habitants.** Cette configuration est le fruit de l'histoire de l'assainissement de Paris, puis de l'agglomération parisienne.



> L'histoire de l'assainissement dans l'agglomération parisienne

Par conséquent, ce livret est consacré aux **principes et aux procédés de l'assainissement collectif** et, exception faite d'un encadré *(page précédente)*, n'aborde pas la gestion de l'assainissement non collectif en France.

Dans un système d'assainissement collectif, la **collecte** se fait à la sortie des habitations et des entreprises. Le **transport** est assuré par des réseaux souterrains dont le diamètre est de plus en plus grand, afin d'absorber des débits de plus en plus importants. Le **traitement** est opéré dans des stations d'épuration. Enfin, les eaux épurées sont **rejetées** dans le milieu naturel, un cours d'eau dans la majorité des cas.

Dans l'agglomération parisienne, la collecte et le transport des eaux usées sont assurés par différents acteurs (communes, groupements de communes, départements et SIAAP), mais le traitement des eaux usées est réalisé par un unique acteur, le SIAAP, le Service public de l'assainissement francilien. Son acronyme signifie Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne. Cet établissement public assimilé à une collectivité territoriale regroupe **quatre départements constitutifs (Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne),** mais sa **zone de collecte** s'étend sur certaines communes de la Seine-et-Marne, des Yvelines, de l'Essonne et du Val-d'Oise, pour un total de **286 communes sur un territoire de collecte de 2 000 km²** *(figure 1).* Il est le seul syndicat interdépartemental d'assainissement en France.

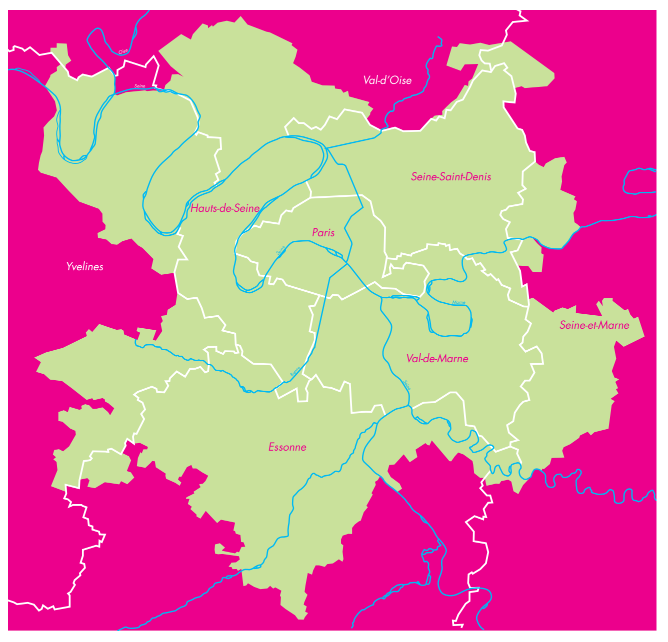


Figure 1 :
La zone de collecte du SIAAP

B. ORIGINE ET CARACTÉRISATION DES EAUX USÉES

Le système d'assainissement collectif est souvent comparé à une chaîne constituée de quatre maillons :

Pollutions des eaux (chapitre I.B)	→	Réseau de collecte et de transport (chapitre II)	→	Station d'épuration (chapitres III.IV.V.VI)	→	Milieu récepteur

Ces maillons sont indissociables. Les deux premiers conditionnent le flux de pollution à traiter par la station d'épuration. Le milieu récepteur, de par le degré de protection qu'il exige, détermine l'efficacité et la fiabilité des ouvrages de dépollution.



> *Les impacts de l'Homme sur les milieux aquatiques*

L'eau est un vecteur essentiel des différents résidus de l'activité humaine. Qu'on lave la vaisselle, un vêtement, qu'on tire la chasse d'eau, ou que l'eau d'orage ou un agent communal lavent les chaussées et entraînent les détritus vers le caniveau, il s'agit à chaque fois de déplacer et d'évacuer un produit indésirable vers une destination souvent méconnue : la station d'épuration.

1/ DIFFÉRENTS TYPES D'EFFLUENTS

Le réseau de collecte et de transport de l'agglomération parisienne est majoritairement unitaire. Cela signifie que les eaux de ruissellement (pluie, nettoyage des rues) rejoignent le même circuit de transport et d'assainissement que les eaux polluées par les activités domestiques et industrielles. Dans ce contexte, on peut définir quatre types principaux d'effluents.

- ***Les eaux usées domestiques*** constituent la première pollution qu'ont historiquement tenté de traiter les sociétés. Elles comprennent les eaux noires (les eaux-vannes des toilettes) et les eaux grises (issues de la cuisine et de la salle de bains). Ces eaux contiennent des matières organiques dégradables et des matières minérales. Le débit moyen en France est estimé à 150 litres par habitant et par jour, un peu moins pour un Francilien (143 litres)[13].

- ***Les eaux usées industrielles*** proviennent des activités industrielles et commerciales. La nature de l'effluent dépend de celle de l'entreprise émettrice : organique pour l'industrie de transformation agro-alimentaire, chimique pour les industries électroniques, les pressings, les laboratoires photographiques et les imprimeries, métalliques pour les industries de sidérurgie-métallerie-fonderie. Le branchement au réseau d'assainissement n'est pas obligatoire, mais le traitement l'est. Ce dernier est parfois effectué sur place, par l'industriel qui dispose alors de sa propre station d'épuration ; c'est le cas pour les industries de grande taille ou celles produisant des pollutions très concentrées (12 % des établissements industriels du bassin Seine-Normandie). Mais la grande majorité des établissements industriels du bassin Seine-Normandie (88 %) rejettent leurs effluents dans le réseau d'assainissement, parfois après un prétraitement spécifique effectué sur place[14]. Ce sont généralement des industries de taille moyenne et petite ou produisant une pollution moins concentrée. Pour le déversement à l'égout, une autorisation de raccordement au réseau est nécessaire, si elle est accordée, elle est suivie par l'établissement d'une convention avec la collectivité. Pour en savoir plus sur les flux polluants des établissements industriels, il est possible de consulter "le Registre français des émissions polluantes[15]" une base de données mise en ligne par le ministère de l'Écologie.

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> *Les activités industrielles sur le bassin de la Seine*

13/ Source : Agreste Île-de-France - SSP - enquête "Eau et assainissement" 2008.
14/ Agence de l'eau Seine-Normandie.
15/ Registre français des émissions polluantes : www.irep.ecologie.gouv.fr

- ***Les eaux pluviales*** sont les eaux de temps de pluie qui ne se sont pas infiltrées dans les sols. Elles ne peuvent plus, comme autrefois, être rejetées sans traitement, et ce afin d'éviter qu'elles ne polluent les rivières. En effet, en traversant l'atmosphère (fumées industrielles, gaz d'échappement) et en lessivant les toitures et les surfaces imperméabilisées (voirie, parkings), les eaux pluviales se chargent d'impuretés qu'elles charrient : pollutions organiques (feuilles, déjections canines), pollutions métalliques (zinc des toitures parisiennes sur lesquelles elles ruissellent), pollutions chimiques (hydrocarbures, huiles de vidange), matières en suspension (terre lessivée par les intempéries), matières minérales (graviers, sables). Leurs caractéristiques dépendent de la pluviométrie et des conditions météorologiques préalables à la pluie. Ainsi, une période sèche suivie d'un gros orage occasionne des pics de concentration pour certains polluants, contrairement à une pluie fine et régulière. Lors d'un fort épisode pluvieux en région parisienne, la quantité d'eau qui circule dans les réseaux peut alors être deux fois supérieure à celle de la Seine.

- ***Les eaux parasites*** sont issues d'infiltrations, de drainages de nappes ou de captages de cours d'eaux, comme c'est le cas pour la Bièvre qui va des Yvelines à Paris, la Morée en Seine-Saint-Denis ou les surverses du lac d'Enghien, dans le Val-d'Oise. Bien qu'elles soient peu chargées en pollution, leur impact hydraulique peut se révéler important.

Les types d'eaux usées traitées par le SIAAP

Le SIAAP reçoit dans son réseau et ses usines un mélange d'eaux usées urbaines (domestiques et industrielles), d'eaux pluviales et d'eaux parasites (figure 2). Le syndicat a reçu 860 millions de mètres cubes d'eau en 2010.

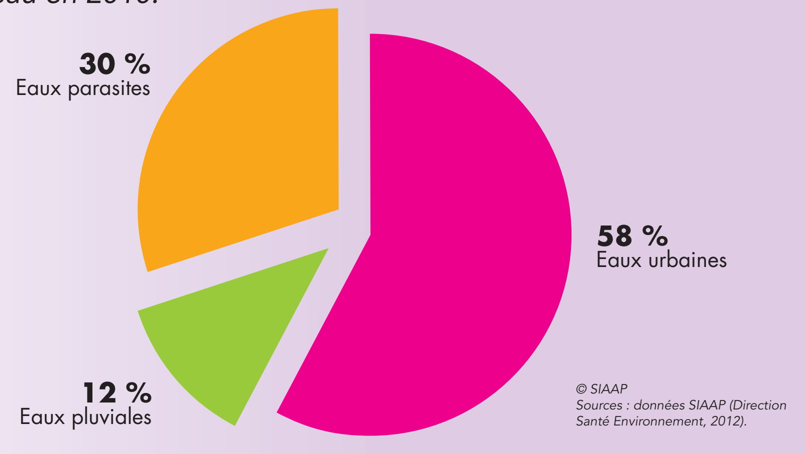


Figure 2 : Répartition des effluents du SIAAP

Il est pour l'heure impossible de connaître précisément la part d'eaux industrielles. En effet, bien que l'autorisation de déversement dans le réseau de collecte soit obligatoire[16], le choix de signer avec l'industriel une convention de déversement relève de la commune propriétaire du réseau. Or beaucoup de communes ne le font pas systématiquement. Pour celles qui le font, le nombre d'établissements industriels répertoriés comme disposant d'une autorisation de déversement de réseau est d'environ 4 000 dans la zone de collecte du SIAAP en 2012. Un peu moins de 400 d'entre eux payent une redevance car ils rejettent des eaux dont la charge polluante est supérieure à 200 EH[17].

16/ Article L 1331-10 du Code de la santé publique.
17/ Voir note n°5.

2/ CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS POLLUANTS

Les eaux usées transportent des matières de nature très variée : matières flottantes pour les plastiques, les feuilles d'arbres et les graisses, lourdes pour les sables, particulaires pour les déjections, dissoutes pour l'urine et les produits ménagers. Certaines sont biodégradables, d'autres pas. Elles peuvent être organiques ou minérales. Ces matières sont considérées comme des polluants lorsqu'elles provoquent une perturbation dans un milieu donné. On parle alors de "pollution", qu'elle soit physique, chimique ou biologique. Pour la plupart, c'est leur concentration dans le milieu récepteur qui va occasionner une pollution. Mais dans certains cas, les composés agissent à très faible concentration.

Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> *La surveillance des cours d'eau par le SIAAP*

Face à la multiplicité des composés et de leurs formes, les épurateurs ont défini des paramètres caractérisant la pollution. Ces paramètres permettent de quantifier la pollution pour d'une part, dimensionner correctement les stations d'épuration, et d'autre part, évaluer les performances des ouvrages de traitement.

• *Mesures de débit*

Le débit est un **volume d'eau mesuré par unité de temps.** Ce terme recouvre de nombreuses situations. Il est nécessaire de bien préciser de quel débit on parle (moyen, de pointe, instantané) et sur quel laps de temps (annuel, journalier, horaire, seconde). Dans les arrêtés communaux et préfectoraux, on utilise ainsi des termes relatifs au débit (de référence). Enfin, on doit souvent distinguer les **débits de temps sec et ceux de temps de pluie.**

Chacune de ces situations a un rôle sur différents aspects du dimensionnement d'une usine : la **pointe** en mètres cubes par seconde détermine la capacité hydraulique du système, le **volume maximum journalier** conditionne la production maximale de boues (il permet de dimensionner les ouvrages de traitement des boues produites par le traitement des eaux), le **débit de référence** indique le débit de la station d'épuration au-dessous duquel la station d'épuration doit impérativement respecter les normes de rejet prescrites. Ainsi, sur des courbes réelles d'enregistrement de débit en fonction du temps, on peut repérer ces différentes grandeurs avec leurs variations caractéristiques.

• *Types de pollutions*

Les matières polluantes contenues dans les eaux usées sont très variées, on peut les regrouper au sein de **quatre catégories de pollution**, qui n'engendrent pas le même type de nuisance et nécessitent des traitements appropriés. Les trois premières catégories réunissent l'essentiel des matières présentes dans l'eau : **les pollutions carbonées, azotées et phosphorées.** La dernière catégorie regroupe, sous le terme générique de **"micropolluants"**, des éléments très divers ; leur présence est limitée mais leur impact peut être grave. Bien que les stations d'épuration les éliminent de façon efficace, ces micropolluants ne sont pas aujourd'hui pris en compte dans le dimensionnement des stations d'épuration.

Toutes les pollutions mesurées s'expriment en **concentration**, c'est-à-dire en **milligrammes par litre (mg/l).**

Pollution carbonée

La pollution carbonée correspond aux **matières organiques.** Rejetées sans traitement dans le milieu récepteur, leur dégradation par des organismes aquatiques entraîne une diminution du taux d'oxygène dissous dans l'eau, néfaste à l'ensemble de la faune vivant dans les cours d'eau. Cela conduit ainsi à la disparition rapide des espèces de poissons les plus exigeantes en oxygène dissous (tels les salmonidés). La mesure de la pollution carbonée se fait à l'aide de deux paramètres aux modes opératoires particuliers.

- La Demande Biochimique en Oxygène à cinq jours (DBO5)

La DBO5 évalue la quantité d'oxygène prélevée au milieu naturel en cas de déversement d'eau usée. L'analyse consiste à mélanger un peu d'eau usée à de l'eau pure saturée en oxygène et à laisser le flacon fermé à une température de 20 °C à l'obscurité, pendant cinq jours. Les micro-organismes présents vont consommer rapidement l'oxygène dissous pour dégrader une partie de la matière organique. On mesure alors l'oxygène dissous restant, et par différence, on obtient la quantité d'oxygène consommé en mg par litre d'effluent. On a reproduit en laboratoire ce qui se passe dans une rivière bien oxygénée où l'on déverse une eau usée. L'analyse dure cinq jours, car cela correspond à la durée pendant laquelle on est sûr que seules les matières carbonées seront consommées. Certains proposent cependant une autre explication, indiquant que ces cinq jours couvrent la durée moyenne d'écoulement des rivières anglaises, là où cette analyse a été mise au point. L'inconvénient majeur de cette mesure est sa durée, un autre paramètre plus rapide est également disponible.

- La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO représente la teneur totale de l'eau en matières organiques, qu'elles soient ou non biodégradables. Ce paramètre est obtenu par une réaction chimique. Le principe repose sur le besoin en oxygène pour dégrader la matière organique, l'oxygène étant ici fourni par un oxydant puissant. Cette réaction est pratiquée à chaud (150 °C) et en présence d'acide sulfurique. Après deux heures, la quantité d'oxydant restant est mesurée ; le résultat s'exprime en mg d'O_2/l d'effluent. Le grand intérêt de cette mesure est sa rapidité[18].

Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> Matière organique et respiration aquatique

Pollution azotée

Dans le domaine de l'assainissement, on divise l'azote en deux grandes familles :

- L'azote réduit

Dans le réseau d'assainissement, milieu fermé, l'azote est le plus souvent sous forme réduite. Dans les eaux usées domestiques, il provient essentiellement des déchets métaboliques, majoritairement de l'urée contenue dans les urines, une forme d'azote organique, et se transforme rapidement en azote ammoniacal (ion ammonium NH_4^+). Il y a un grand intérêt à éliminer l'azote ammoniacal, d'une part il est toxique et d'autre part sa transformation en nitrates dans le milieu récepteur demande une consommation d'oxygène.

- L'azote oxydé

Dans les eaux usées, les formes oxydées sont quasiment absentes. Il s'agit des nitrites (NO_2^-) et des nitrates (NO_3^-), produits de la transformation chimique de l'azote réduit en présence d'oxygène (oxydation). Elles n'apparaissent qu'au cours des traitements épuratoires ou lors des rejets d'eau insuffisamment épurée dans les cours d'eau.


Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> Les risques sanitaires associés aux nitrites

18/ *Guide technique de l'assainissement,* R. Bourrier, M. Satin et B. Selmi, Éditions Le Moniteur, 2010.

Pollution phosphorée

Le phosphore présent dans les eaux usées a deux origines principales : le **métabolisme humain** et les **détergents.** Il est mesuré sous deux formes :

- **Le phosphore total** (Pt) : phosphore particulaire + phosphore dissous

- **Les orthophosphates** (PO_4^{3-}) : constituent la majeure partie du phosphore dissous.

La principale menace que représentent les pollutions phosphorée et azotée pour le milieu naturel est l'**eutrophisation.** L'azote et le phosphore sont nécessaires à la croissance des végétaux et des algues, mais leur présence en excès dans le milieu aquatique conduit à la prolifération des espèces végétales, c'est l'eutrophisation. Parmi les conséquences directes de l'eutrophisation, on peut citer la perturbation de la production d'eau potable, des activités économiques et des loisirs nautiques. De plus, l'eutrophisation se traduit par une forte consommation d'oxygène notamment par les plantes surabondantes, mais surtout par les micro-organismes qui dégradent cette importante masse organique constituée par les végétaux morts. Cet appauvrissement en oxygène dissous est néfaste pour la faune aquatique.

Le risque d'une eutrophisation est moins élevé pour un fleuve canalisé comme la Seine, que pour un fleuve lent, tel que la Loire, ou une petite rivière. Par ailleurs, l'eutrophisation peut être régulée en limitant les apports en l'un ou l'autre des éléments nutritifs que sont les matières azotées et phosphorées. Dans les rivières, le **phosphore** est naturellement et proportionnellement en concentration plus faible que l'azote ; c'est le facteur limitant de la croissance des plantes aquatiques. Il faut donc supprimer les apports de phosphore susceptibles de provoquer la croissance excessive des végétaux dans les rivières. Un moyen efficace est de fabriquer des lessives totalement exemptes de phosphates ou d'éliminer les phosphates résiduels issus du métabolisme humain au niveau des stations d'épuration.

Le littoral marin est également victime d'eutrophisation pouvant prendre diverses formes, dont la prolifération d'algues vertes, notamment sur les plages bretonnes. Dans ce cas, l'azote, principalement d'origine agricole, est l'élément nutritif limitant de la croissance algale[19].



> Azote-Phosphore et eutrophisation

Micropolluants

Des milliers de produits chimiques différents sont utilisés dans la fabrication des biens de consommation courante. Souvent, une petite partie de ces produits chimiques se retrouve dans les eaux usées, puis est rejetée dans l'environnement après que les eaux aient été traitées. Ces diverses molécules – chimiques, métalliques, biologiques – sont donc ainsi présentes dans les milieux aquatiques en très faible concentration, et sont de plus en plus souvent soupçonnées d'avoir des impacts négatifs importants sur l'eau, l'environnement et notre santé.

- **La pollution chimique**

  Les produits chimiques de synthèse sont généralement toxiques, parfois à très faible dose, avec un impact sur l'environnement plus ou moins étendu et rémanent selon les cas. Mais ces produits sont également toxiques pour les hommes : développement de cancers, baisse de la fertilité, perturbations du système endocrinien, malformations congénitales... De nombreuses polémiques ont éclaté ces dernières années et ont permis de mettre en avant les risques associés à ces produits. Voici quelques familles de polluants chimiques :
  > PCB (PolyChloroBiphényles)
  > HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)

19/ Les "marées vertes en Bretagne", la responsabilité du nitrate, Ménesguen A., 2003. http://envlit.ifremer.fr/content/download/27419/222408/version/1/file/marees_vertes_0306.pdf

> phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides, tels atrazine, DDT)
> œstrogènes médicamenteux (Distilbène)
> plastifiants (bisphénol A, phtalates).

- La pollution métallique

Une partie de cette pollution est constituée des éléments traces métalliques (ETM), anciennement appelés métaux lourds (fer, plomb, mercure, uranium, chrome, cuivre, cadmium, argent, etc.). Ils sont présents naturellement à l'état de traces, mais leur exploitation par l'activité humaine a conduit à leur dissémination dans l'environnement où on les retrouve à des concentrations plus ou moins importantes, leur impact toxicologique dépend de leur forme chimique, de leur concentration et de la possibilité qu'ils passent dans la chaîne du vivant.

Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> Micropolluants dans l'environnement et toxicité

Pollution bactériologique

Elle résulte principalement des rejets provenant de l'intestin des animaux et des hommes. Les excréments contiennent en effet des germes pathogènes :

- bactéries (paramètre pour la baignabilité)
- virus
- champignons
- vers et œufs parasites.

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> Les micro-organismes responsables de maladies hydriques

• *Formes de pollutions*

Les polluants se trouvent sous trois principales formes : grossière, particulaire et dissoute. Dans le cadre d'une approche pédagogique davantage vulgarisée, notamment avec les élèves les plus jeunes, il est possible de privilégier cette typologie basée sur la **taille des éléments polluants,** en simplifiant le volet chimique présenté précédemment. Elle présente l'avantage d'aborder concrètement les grandes étapes du traitement des eaux usées.

Pollutions grossières

Les pollutions grossières ne sont pas des pollutions de l'eau au sens strict, mais plutôt des déchets transportés par les eaux usées, qu'il faut retirer afin de protéger les ouvrages de traitement. Selon la densité de la matière principale qui les compose, les pollutions grossières peuvent être :

- **flottantes** (plastiques, feuilles et branches d'arbres, graisses)
- **lourdes** (sables).

Pollutions particulaires

Les pollutions particulaires (principalement les matières fécales) se présentent sous la forme de matières en suspension (MES) qui troublent l'eau (turbidité) et risquent de créer des dépôts. On distingue :

- les matières **minérales** (MM)
- les matières **volatiles** (MV), c'est-à-dire la fraction **organique** des MES.

Pollutions dissoutes

Les pollutions dissoutes, ou solubles dans l'eau, sont les matières non décantables qui forment un mélange homogène avec l'eau (urine, produits d'hygiène et d'entretien, sébum, matière organique). Elles sont responsables de la couleur et de la salinité de l'eau.

• *Méthodes de quantification de la pollution*

La quantité de pollution qui doit être éliminée par une station d'épuration peut être mesurée ou évaluée par des calculs. Les méthodes de quantification de la pollution ont plusieurs fonctions : le dimensionnement des ouvrages d'épuration et l'évaluation des performances des ouvrages.

Les équivalents-habitants

Afin d'évaluer la capacité d'une station d'épuration, une unité de mesure a été mise en place : l'équivalent-habitant. Cette unité de mesure se base sur la **quantité de pollution émise par jour et par habitant**, plus les activités économiques urbaines (restaurants, hôpitaux, artisanat, hors industries spécifiques, ainsi qu'une part de pollution par temps de pluie dans le cas des réseaux unitaires). La Directive Eaux Résiduaires Urbaines *(encadré réglementaire page 10)* définit l'équivalent-habitant comme la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique en oxygène à cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour.

1 EH = 60 g de DBO5/jour (soit 21,6 kg de DBO5/an)
120 à 150 g de demande chimique en oxygène (DCO)
70 à 90 g de matières en suspension (MES)
12 à 15 g d'azote Kjeldahl (NK)
2,5 à 3 g de phosphore total (PT)[20].

Les flux de pollution

Connaissant les débits et les concentrations de chaque polluant, il est possible de calculer des flux. Un flux de polluant est une **masse de polluant par unité de temps**, cette unité de temps pouvant être la seconde, l'heure, la semaine, l'année ou plus généralement le jour. Suivant ce que l'on veut exprimer, on parlera de flux horaire, journalier, de semaine la plus chargée, annuel. Le terme dépend aussi de la position à laquelle on se place :

- **flux entrant :** capacité de la station
- **flux sortant :** pollution rejetée au milieu naturel
- **flux éliminé :** efficacité épuratoire de la station.

20/ *Mémento technique de l'eau*, Degrémont Suez, 2005.

II. Collecte et transport des eaux usées

Le système de collecte et de transport des eaux usées désigne le réseau de canalisations, principalement souterraines, qui recueille et achemine les eaux usées jusqu'aux stations d'épuration. Il convient de différencier la **collecte** – qui se fait par les branchements des particuliers et des entreprises ainsi que par les avaloirs d'égout – et le **transport** qui se fait par des canalisations de différents modèles.

Un **réseau d'assainissement** est particulièrement complexe du fait de la multitude de tronçons hétérogènes qui le composent et des nœuds ponctuant le parcours des eaux usées (branchements, jonctions, bifurcations, seuils, etc.). Les réseaux ont été progressivement renforcés et interconnectés, améliorant ainsi leur efficacité, mais augmentant aussi cette complexité.

A. CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

1/ *DEUX PRINCIPAUX TYPES DE RÉSEAUX*

Historiquement, les premiers égouts recueillaient toutes les eaux usées et les eaux de pluie. Mais progressivement et sur certains territoires, deux réseaux distincts ont progressivement été implantés, permettant une gestion différenciée des eaux usées et pluviales. On distingue principalement deux systèmes – les réseaux unitaires et les réseaux séparatifs – *(figure 3)*, mais on rencontre également des systèmes mixtes combinant les deux.

• ***Système unitaire***
Un seul collecteur assure à la fois le transport des **eaux usées** et des **eaux pluviales.** Il constitue le système traditionnel lié à l'évolution historique des villes (conception simple, encombrement réduit dans le sous-sol). Les caractéristiques de l'effluent – qualité et quantité – sont variables selon les conditions pluviométriques et induisent des risques de dépassement de capacité (mise en charge). Lors des événements pluvieux, l'eau pluviale exerce une certaine dilution des eaux usées, mais après une période sèche, on assiste à un "nettoyage" de la ville : le premier flot est très chargé (plomb, zinc, hydrocarbure, sables). Bien qu'associée à ce système très répandu, la notion de "tout-à-l'égout" est désormais à proscrire car elle suggère que tout et n'importe quoi peut être rejeté dans le réseau d'assainissement[21].

Pour aller plus loin : **HISTOIRE**
> *L'histoire des égouts de Paris*

• ***Système séparatif***
C'est l'orientation choisie depuis les années 1970 dans les villes nouvelles et les quartiers récents, avec la mise en place d'un **double réseau.** Les **eaux usées** sont conduites à la station d'épuration pour traitement. L'effluent présente donc dans ce cas une qualité relativement régulière ainsi qu'un débit journalier assez constant. Les **eaux pluviales** sont rejetées dans un cours d'eau, après avoir subi un traitement spécifique dans certains cas. Toutefois, le plus souvent, les eaux pluviales sont simplement collectées et infiltrées au niveau de la parcelle ou évacuées en surface (dans un fossé par exemple).

21/ *Guide technique de l'assainissement*, voir note n°18.

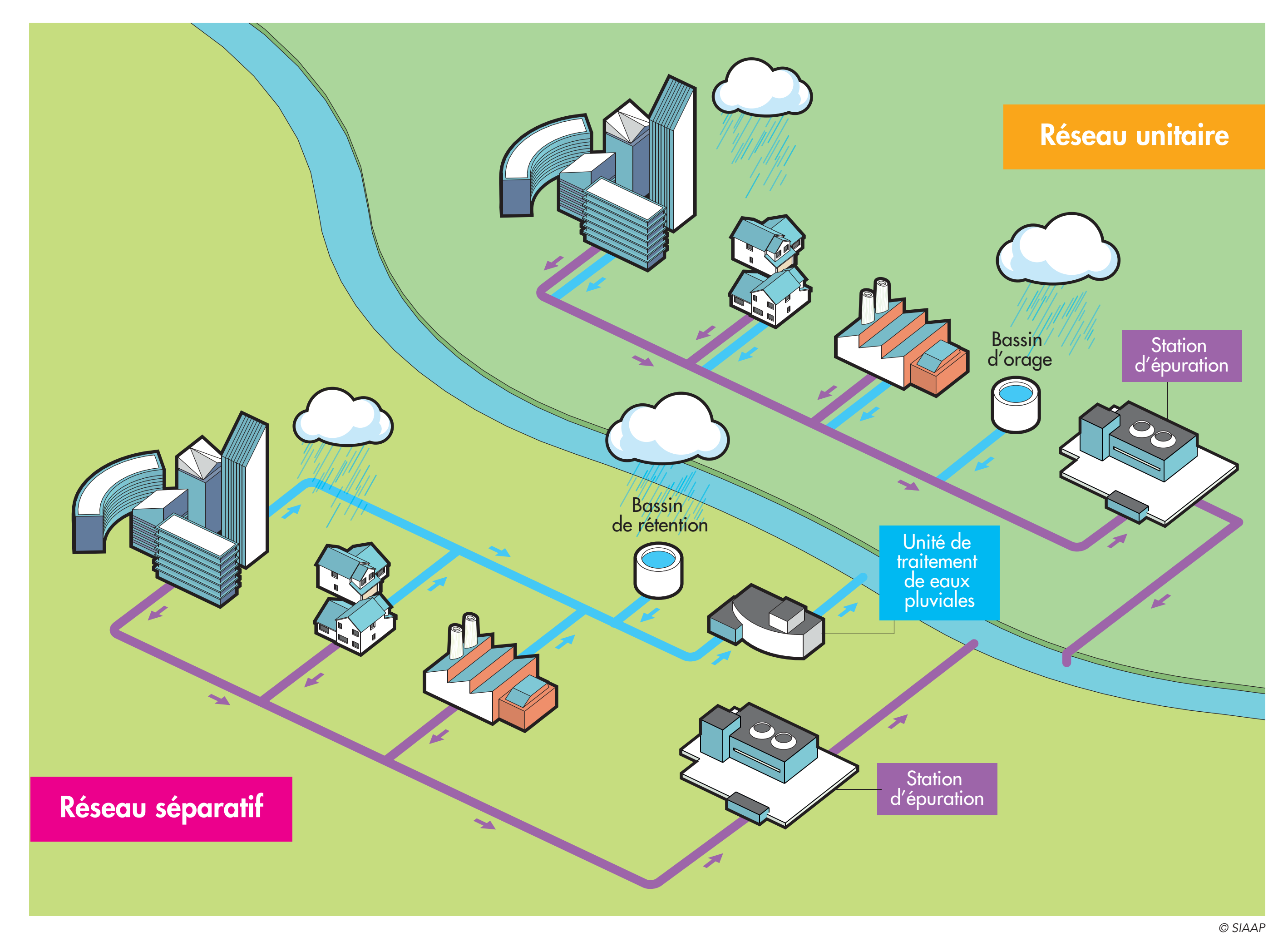


Figure 3 : Deux types de réseaux d'assainissement : unitaire et séparatif

2/ PRINCIPES HYDRAULIQUES

Dans la mesure du possible, le transport des eaux usées se fait par gravité, c'est-à-dire que leur écoulement se fait selon la pente naturelle. Cependant, lorsque la configuration du terrain ne permet pas un écoulement satisfaisant des eaux, on a recours à des procédés de pompage pour faciliter leur acheminement. Il s'agit le plus souvent de leur faire franchir un obstacle topographique ou de prolonger le parcours de l'effluent lorsque la dénivellation devient trop faible et pour éviter une sur-profondeur de la canalisation en fin de trajet. Il est donc indispensable d'implanter ponctuellement des stations de pompage sur le réseau de transport des eaux usées. Deux modes d'actions sont mis en place selon les besoins :

- **des relèvements :** permettant de relever à faible hauteur et à courte distance les eaux d'une canalisation ne pouvant plus s'approfondir. Le relèvement ainsi créé permet de reprendre l'écoulement gravitaire en aval. La station de pompage est alors aussi appelée poste de relevage.
- **des refoulements :** permettant de forcer le transport des effluents d'un point à un autre, souvent sur de grandes distances, par une mise en pression. Il peut s'agir de passer d'une rive à l'autre d'un cours d'eau ou d'effectuer une longue distance à plat ou à contre-pente.

Une **station de pompage** est constituée d'une bâche de stockage des effluents et d'un équipement de pompage avec une ou plusieurs pompes.

3/ CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement optimal d'un réseau de transport des eaux usées exige un certain nombre de dispositions essentielles :

• La rapidité de circulation des effluents

Les réseaux de transport des eaux usées constituent un milieu propice à une **fermentation anaérobie** – c'est-à-dire sans oxygène – en cas de dépôt de matière organique au fond des canalisations. Il se produit alors un développement de bactéries induisant des nuisances, telles les bactéries sulfato-réductrices qui génèrent des gaz odorants et dangereux. Ainsi, la production de **dihydrogène sulfuré** (H_2S) constitue un risque pour les égoutiers du fait de sa forte toxicité. Ce gaz génère également des nuisances olfactives pour les riverains. Enfin, il peut entraîner la dégradation des équipements et affecter les rendements épuratoires à cause de l'acidification des effluents.
Il convient donc de réduire au maximum le temps de séjour des eaux usées dans les conduites afin d'empêcher le phénomène de décantation. Pour cela, une **vitesse** suffisante des effluents permet d'éviter les dépôts en réalisant un **autocurage** des canalisations.

• L'étanchéité des canalisations

Il est indispensable que les canalisations ne laissent pas passer de flux d'eau entrant (pour ne pas drainer les eaux de surfaces ou les eaux souterraines) ou sortant (pour ne pas laisser s'échapper des effluents pollués vers le milieu naturel).

• L'accessibilité des canalisations

Certaines canalisations sont visitables en fonctionnement, c'est le cas des égouts de Paris. Ces derniers sont de forme ovoïde et présentent des banquettes surélevées sur les côtés où les hommes peuvent circuler hors de l'eau. Cela facilite la surveillance, l'entretien et la maintenance des ouvrages. D'autres, par contre, ne peuvent accueillir du personnel que lorsqu'elles sont vidées, on parle alors de "mise en chômage". Les émissaires, de forme circulaire et de plus grandes dimensions, appartiennent à cette seconde catégorie.

• Le maillage du réseau

Les interconnexions entre les tronçons du réseau permettent de mettre en chômage des canalisations pour effectuer des opérations de maintenance ou des travaux. Le maillage du réseau offre également une souplesse et une optimisation du transport des eaux usées en fonction des zones desservies et des stations d'épuration. Ainsi, si une station ne peut plus accueillir d'effluents pendant une période donnée, ils peuvent être réorientés vers une autre station d'épuration. Aujourd'hui, les exploitants des réseaux sont assistés par des outils informatiques qui les aident à réguler le réseau et à diriger les effluents *(voir VI. A. 4. page 67, le logiciel de gestion des effluents du SIAAP).*

• La sélectivité des raccordements

Nous avons vu dans le chapitre précédent que le raccordement des effluents issus des industriels n'est pas systématique. Le contrôle et la sélectivité de ces rejets permettent de mieux connaître les polluants entrant dans le réseau. Parfois, à cause d'une forte charge en polluants organiques ou en micropolluants métalliques, chimiques ou biologiques, ces rejets peuvent avoir des conséquences néfastes sur le fonctionnement des stations d'épuration, ils peuvent ainsi altérer la dégradation du traitement biologique ou introduire des métaux dans les boues d'épuration.

B. DESCRIPTION DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

1/ *DIFFÉRENTS MODÈLES DE CANALISATION*

Il existe des canalisations d'eaux usées de forme et diamètre différents. Elles sont dimensionnées en fonction du nombre d'habitants concernés (et donc du débit à recevoir), de la prise en charge éventuelle des eaux de ruissellement et des autres réseaux circulant dans ces canalisations, principalement des conduites d'eau potable et de fibres optiques (pour le téléphone et Internet).

La visite publique des égouts de la ville de Paris permet d'approfondir ce sujet et de découvrir le métier des égoutiers.

À titre d'exemple, voici différents types d'ouvrages implantés en agglomération parisienne (*figure 4*) :

- **égouts élémentaires :** de forme ovoïde et d'une largeur comprise entre 1 et 1,30 m. Ils sont présents sous chaque rue ;
- **collecteurs secondaires :** de forme ovoïde et d'une largeur comprise entre 1,30 et 3 m. Ils ont la particularité de posséder une banquette pour la circulation des égoutiers et une cunette qui est le canal d'écoulement de l'eau en temps sec (en temps de pluie, toutes les canalisations peuvent se remplir partiellement ou totalement, on dit qu'elles se mettent en charge) ;
- **collecteurs principaux :** de forme ovoïde et de 3 à 6 m de large. Ils possèdent une cunette de 3,5 m et deux banquettes de visite. Ils sont en général situés sous les boulevards ;
- **émissaires :** égouts ronds de 2,50 à 6,80 m de diamètre. Ils transportent les eaux usées vers les stations d'épuration. On ne peut pas les visiter.

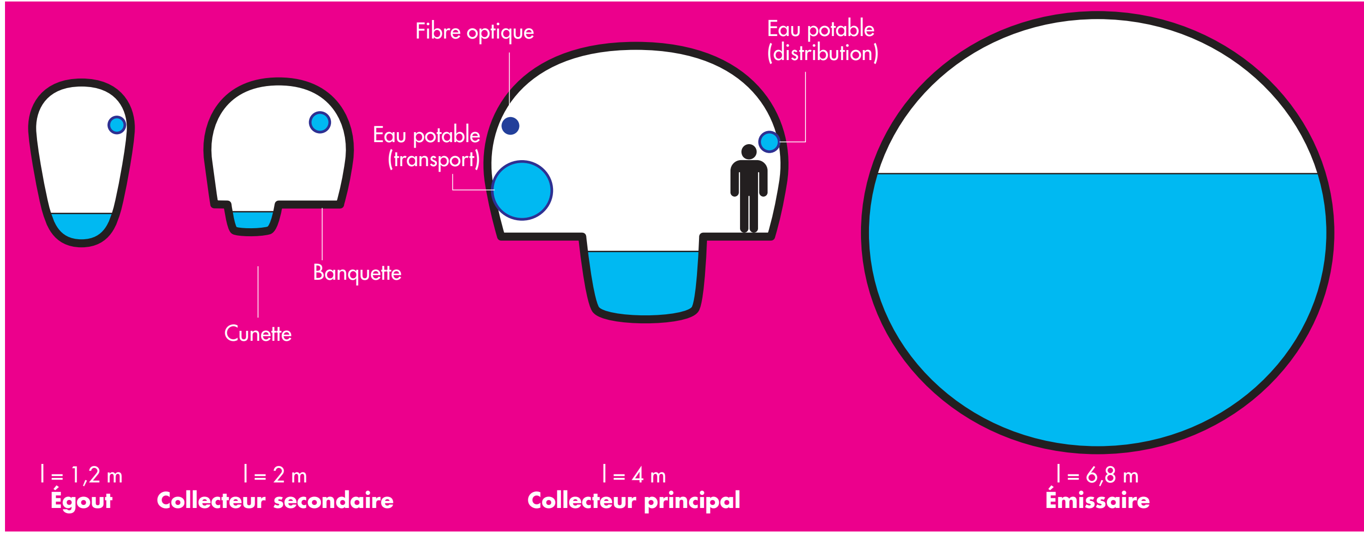


Figure 4 : Coupe schématique d'un égout, de deux collecteurs et d'un émissaire

2/ GESTION DES EAUX PAR TEMPS DE PLUIE

L'urbanisation de nos sociétés s'accompagne d'une imperméabilisation des sols, empêchant l'infiltration de la pluie. Par conséquent, une part toujours croissante de l'eau pluviale s'engouffre dans le réseau d'assainissement.

Les eaux pluviales constituent un probléme à double égard. D'abord, sur le plan quantitatif, la variabilité et parfois les grandes quantités de précipitations vont avoir un **impact hydraulique**, notamment la saturation du réseau d'assainissement et des stations d'épuration, conduisant à des chutes du rendement épuratoire. Il existe également, pour les villes et les quartiers situés à basse altitude et à proximité des cours d'eau, des risques d'inondation par des remontées via les bouches d'égout. Ensuite, sur le plan de la **qualité des milieux aquatiques,** lorsque le réseau d'assainissement sature, il arrive que des eaux pluviales se déversent directement dans un cours d'eau avec tous les polluants dont elles se sont chargées sur leur parcours. Mais le déversement peut aussi être constitué d'un mélange d'eaux usées et pluviales, avec donc une charge polluante encore plus importante.

Une bonne gestion hydraulique des flux permet la préservation des écosystèmes aquatiques et la protection des zones vulnérables aux inondations. En réseau unitaire, il s'agit de stocker temporairement un mélange d'eaux pluviales et d'eaux usées. Selon la conception du réseau, il est possible d'envisager plusieurs destinations pour les eaux excédentaires de temps de pluie.

• ***Les bassins de retenue ou de rétention :*** *utilisés en réseau* ***séparatif***
Ils stockent l'eau de pluie excédentaire vis-à-vis de la capacité instantanée du réseau et permettent d'éviter une inondation. Cette eau est ensuite restituée à la fin de l'épisode pluvieux.

• ***Les bassins d'orage ou de stockage :*** *utilisés en réseau* ***unitaire***
Le rôle de ces bassins de forme (bassin, tunnel) et de dimensions très variables est de retenir le premier flot, le plus pollué, afin de l'envoyer ensuite dans une station d'épuration. C'est le principe de stockage-restitution. Un premier traitement peut être effectué sur place. Ces bassins préservent davantage le milieu naturel, ce qui a encouragé de nombreuses réalisations ces dernières années, notamment en région parisienne *(voir les ouvrages de stockage du SIAAP : VI.A.3 page 66 et figure 41).*

• ***Les déversoirs d'orage :*** *utilisés en réseau* ***unitaire***
En cas de précipitations très importantes, leur fonction est d'évacuer une partie des eaux pluviales vers un cours d'eau afin de ne pas dépasser la capacité du réseau, ce qui occasionnerait des inondations. Il existe des ouvrages en surverse dans lesquels le premier flot, le plus chargé en pollution, est collecté et où seul l'excédent est rejeté vers la rivière. Des conditions strictes sont imposées pour limiter ce fonctionnement qui comporte des risques pour les milieux aquatiques.

III. Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées comprend différentes étapes successives. Si les procédés diffèrent légèrement selon les stations d'épuration, en fonction de l'année de mise en service, de la sensibilité du milieu récepteur ou des contraintes d'implantation de l'usine, les principes généraux d'épuration demeurent les mêmes et les ouvrages sont ordonnés selon un ordre qui varie peu. Ces grandes étapes – prétraitement, traitements primaires, secondaires, tertiaires – correspondent à la typologie des formes de pollution mise en évidence dans le premier chapitre.

- Les pollutions **grossières** sont soumises à des **prétraitements** (procédés physiques).
- Les pollutions **particulaires** sont éliminées lors de **traitements primaires** (physiques ou physico-chimiques).
- Les pollutions **dissoutes** sont dégradées par des **traitements secondaires** (biologiques).
- Enfin, un affinage est parfois réalisé par le biais de **traitements tertiaires.**

A. PRÉTRAITEMENTS

En tête d'une station d'épuration, ils ont pour but de retenir les matières séparables par des procédés simples : les matières volumineuses au moyen de grilles, les sables dans des dessableurs, les produits moins denses que l'eau et les matières flottantes les plus grossières par des installations de dégraissage. Ces procédés facilitent les opérations ultérieures telles que pompage, digestion, traitements mécaniques des boues, au cours desquelles on peut craindre l'engorgement et l'abrasion des appareils[22].

1/ DÉGRILLAGE

Premier dispositif de la station d'épuration, le **dégrilleur** est destiné à retenir les matières volumineuses qui pourraient perturber la suite du traitement. Comme son nom l'indique, il est constitué d'une grille que l'effluent doit traverser *(figure 5)*. La vitesse de passage de l'eau doit être suffisante pour que les déchets se plaquent sur la grille sans la colmater (de l'ordre de 0,5 à 1 m/s). Les barreaux droits en acier sont plus ou moins espacés, formant trois niveaux de grilles :

- pré-dégrillage : pour un écartement supérieur à 40 mm ;
- dégrillage moyen : entre 10 et 40 mm ;
- dégrillage fin : entre 6 et 10 mm.[23]

Les grilles peuvent être manuelles ou mécaniques, le premier type étant réservé aux très petites stations d'épuration. Le **nettoyage automatique des grilles** est recommandé pour éviter le colmatage et une élévation du niveau d'eau en amont de la grille. Il est assuré par un râteau, aussi appelé peigne, monté sur un treuil effectuant des mouvements verticaux réguliers. Lorsque le râteau s'élève, il récupère les déchets retenus sur la grille, puis les déverse sur un tapis roulant qui les évacue vers un container. Le fonctionnement est généralement discontinu, selon une cadence prédéfinie (une minute à une heure), mais dans un réseau unitaire, les périodes d'orage imposent alors un fonctionnement continu. Les résidus retenus sont appelés **refus de grilles** ou parfois fumiers *(voir encadré sur le devenir des refus de grilles, p. 28)*.

22/ L'assainissement des agglomérations et protection sanitaire des milieux récepteurs (circulaire du 7 juillet 1970).
23/ *Mémento technique de l'eau*, voir note n°20.

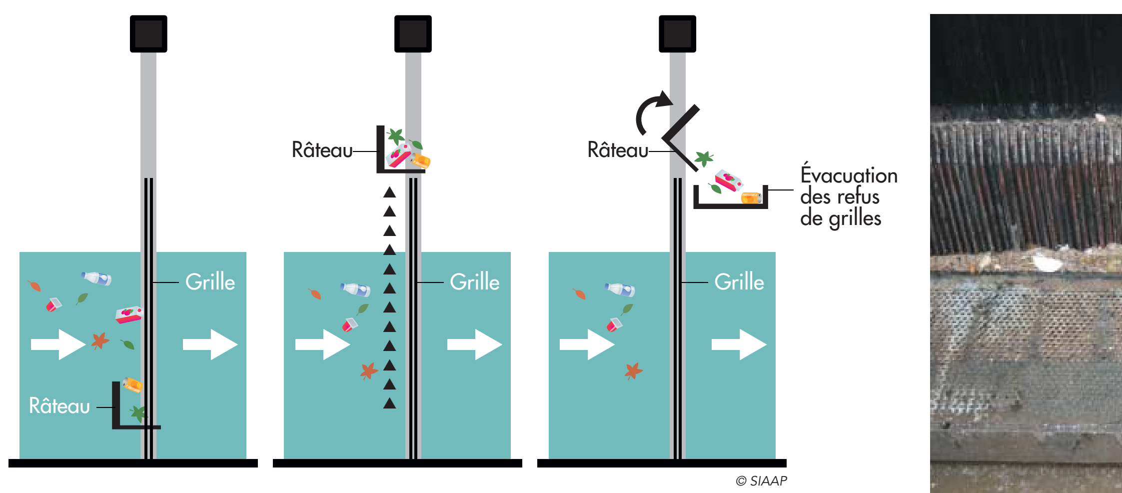


Figure 5 : Dégrillage
a. Schéma de fonctionnement

© SIAAP
b. Dégrilleur (Seine aval)

2/ TAMISAGE

Avec un principe de fonctionnement relativement proche du dégrillage, le tamisage est toutefois moins systématique. Son rôle est de retenir les particules fines pour éviter le colmatage de certains équipements sensibles à ce phénomène parfois utilisés lors des traitements secondaires (biofiltres).

Le **tamis** s'apparente à une passoire dont les trous, appelés mailles, ont une dimension inférieure à 6 mm. On rencontre le plus souvent deux types de tamisage :
- macro-tamisage : pour des mailles comprises entre 0,15 et 2 mm ;
- micro-tamisage : pour des mailles comprises entre 30 et 150 µm.

Il existe plusieurs technologies : tamis fixe, filtrant, vibrant, rotatif *(figure 6)*. La récupération et l'évacuation des déchets est similaire à celle qui est faite pour le dégrillage.

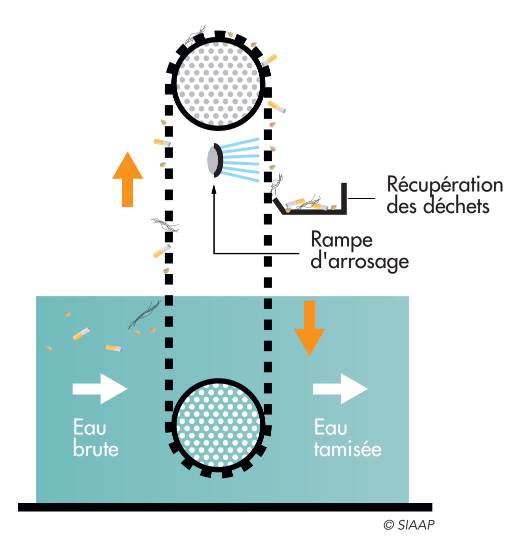


Figure 6 : Tamisage rotatif
a. Schéma de fonctionnement



© SIAAP
b. Tamiseur (Marne aval)



© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon

Le devenir des refus de grilles

Branches et feuilles d'arbres, bouteilles en plastique, produits hygiéniques usagés (lingettes, couches, tampons, serviettes, cotons-tiges), cartons, papiers et filasses de cheveux constituent l'essentiel des refus de grilles. Un dégrillage avec un espacement de 40 mm retient 2 à 5 l de matières par an et par habitant, avec une teneur en eau de ces matières de 60 à 75 % après égouttage et pressage. Ce volume est de 5 à 10 l pour des barreaux espacés de 20 mm et de 10 à 25 l pour un écartement de 6 mm. Ces refus de grilles, assimilés à des ordures ménagères, sont essorés, compactés, puis évacués vers les usines d'incinération des ordures ménagères ou les décharges.

Figure 7 : Refus de grilles essorés

LES BONS GESTES POUR LE BON FONCTIONNEMENT D'UNE STATION D'ÉPURATION

Ne pas jeter de produits hygiéniques – cotons-tiges, coton, lingettes, tampons et serviettes hygiéniques, préservatifs, etc. – dans les toilettes ou les lavabos afin d'éviter de perturber le **dégrillage**. Dans la rue, n'abandonner aucun déchet dans le caniveau.

3/ DESSABLAGE

L'objectif du dessablage est de retenir les matières minérales qui pourraient provoquer l'abrasion des tuyauteries et des pompes, ainsi que le bouchage et l'ensablement des ouvrages. On extrait des **graviers, des sables** et **des particules minérales**, ainsi que de petits morceaux de verre, de béton, de poteries. En général, le dessablage extrait les particules de densité supérieure à 2,5 et dont la **granulométrie** est supérieure ou égale à 0,2 mm[24]. Les particules de granulométrie inférieure sont prises en charge pendant l'étape de la décantation primaire *(voir chapitre B.)*.

Le principe du dessablage est de laisser tomber les particules minérales au fond du bassin duquel elles seront ensuite extraites. Une contrainte forte marque cette étape : il s'agit d'extraire le maximum de matières minérales, mais le minimum de matières organiques, susceptibles de fermenter et de provoquer diverses nuisances lors de leur stockage et de leur transport. La **vitesse d'écoulement de l'eau** est ralentie entre 30 et 60 cm/s, ce qui, en théorie, permet de sélectionner les produits sédimentés en séparant les éléments minéraux et les matières organiques en suspension. En pratique, il est difficile de contrôler cette vitesse car le débit et la quantité de sable varient, et que l'on ne dispose pas toujours d'une batterie de canaux suffisante. À une vitesse de circulation des eaux résiduaires urbaines de 30 cm/s, le ratio matières organiques sur matières minérales est d'environ 50 %.

Pour pallier ces difficultés, on procède désormais à un **dessablement aéré**. Les vitesses d'écoulement y sont plus lentes, ce qui a comme corollaire la sédimentation non désirée des matières organiques. La séparation des sables et des matières organiques est donc effectuée en insufflant de l'air dans l'effluent, ce qui crée une turbulence de l'eau suffisante pour remettre en suspension les matières organiques, moins lourdes. Cette insufflation d'air, qui occasionne aussi une certaine friction entre les particules, permet aussi un premier lavage du sable.

24/ *Mémento technique de l'eau*, voir note n°20.

Les **bassins de dessablement** sont généralement **rectangulaires,** mesurent de 4 à 30 m de long, et l'eau n'y séjourne que quelques minutes. Les **sables** sont repris en continu ou presque dans le **fond des bassins,** soit par un **dispositif à chaînes et râteaux,** soit par un **dispositif de pompage** installé sur un pont mobile *(figure 8)*. Il existe également des bassins de dessablement circulaires de forme cylindroconique, mais il n'y en a pas dans les usines du SIAAP.

Le devenir des sables

*La quantité de sable extrait peut atteindre 15 l par an et par habitant en réseau unitaire. Ces sables sont **lavés** par une aération violente, puis **séparés** des produits légers sur un hydrocyclone (appareil qui, par la force centrifuge, sépare les sables du jus d'essorage), et enfin **classifiés** sur un ouvrage à vis ou à palettes destiné à leur égouttage. Ils peuvent alors être **valorisés** comme **remblai** ou lit de fond de fouille (par exemple lors de travaux routiers) ou pour alléger les sols agricoles. Ces utilisations ne sont autorisées que pour des produits comportant moins de 5 % de matières organiques, peu de matières solubles et de métaux lourds. À défaut, les sables sont évacués en décharge.*

LES BONS GESTES POUR LE BON FONCTIONNEMENT D'UNE STATION D'ÉPURATION

Pour limiter l'ensablement des canalisations de transport des eaux usées et ne pas alourdir l'étape du **dessablage,** il est important de ne pas jeter de débris minéraux dans les éviers. De la même façon, dans le cas d'un système unitaire, il est préconisé d'évacuer régulièrement la terre et le sable amassés dans les caniveaux pour qu'ils ne soient pas lessivés par la pluie et conduits jusqu'aux bouches d'égouts.

4/ *DÉGRAISSAGE*

Dans les eaux résiduaires urbaines, on trouve des huiles végétales, animales et minérales, ainsi que des hydrocarbures légers. Ces graisses s'agglomèrent souvent avec d'autres matières en suspension diverses (fibres végétales, élastomères, plastiques). En théorie, leur rejet dans le réseau est interdit, mais, dans les faits, de grandes quantités de graisses circulent dans les eaux usées. Ainsi, tous les restaurants et restaurations collectives devraient être équipés de séparateurs à graisses pouvant retenir jusqu'à 80 % des matières grasses (figées par la température). En France, on note des valeurs de 16 à 18 g de lipide par EH par jour, dont seulement 10 à 20 % sont retenus par des dégraisseurs.

Dans une station d'épuration, le dégraissage s'effectue au cours d'un temps de séjour de 15 à 20 min. Le principe d'extraction est basé sur la **flottation.** Les graisses ayant une **densité légèrement inférieure à celle de l'eau,** il suffit de ralentir suffisamment la vitesse pour que les particules légères remontent à la surface et soient piégées sur une cloison. Toutefois, les particules graisseuses sont très fines et les forces de capillarité s'opposent à la poussée d'Archimède. Pour améliorer le rendement de séparation, de très fines **bulles d'air** sont insufflées ; elles se collent préférentiellement sur les particules hydrophobes, notamment les graisses, qu'elles font flotter plus rapidement. On utilise à cet effet une turbine immergée aspirant l'air de surface au moyen d'un tube et le dispersant dans la masse liquide mise en mouvement lent de giratoire. L'extraction des matières grasses peut être réalisée soit par déversement, soit par raclage. Dans le second cas, les graisses sont récupérées en surface par un pont-mobile qui effectue des allers-retours sur le bassin, elles sont ensuite bloquées à une extrémité du bassin et raclées vers des trémies d'évacuation.

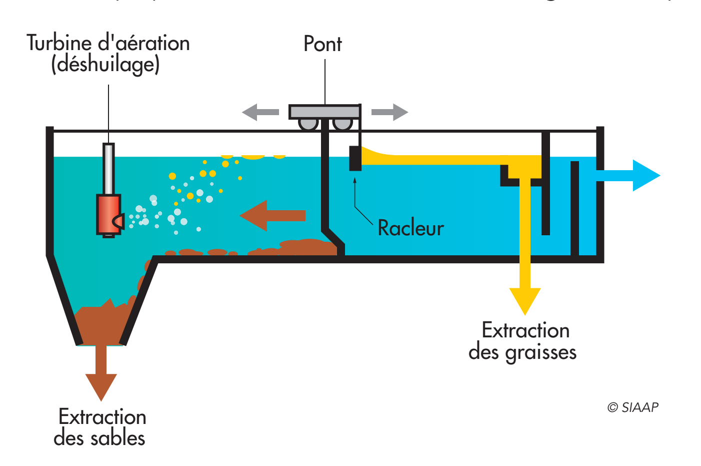
Le devenir des graisses

*La valorisation des graisses est plus délicate que celle des sables. Leur **incinération** constitue une solution satisfaisante du fait de leur bon pouvoir calorifique inférieur (le PCI, exprimé en kilojoules par kilogramme (kJ/kg), est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible), bien qu'elle soit assez difficile à mettre en œuvre compte tenu de la nature hétérogène du produit.*

LES BONS GESTES POUR LE BON FONCTIONNEMENT D'UNE STATION D'ÉPURATION

Lorsque l'on a une grande quantité d'huile alimentaire à jeter, il ne faut pas la verser dans l'évier pour ne pas surcharger le **dégraissage.** L'idéal est de la déposer dans une déchetterie, mais on peut aussi la transvaser dans une bouteille en plastique et jeter l'ensemble fermé avec les ordures ménagères. Il existe désormais des produits pour solidifier les matières grasses afin de faciliter leur évacuation.

Le plus souvent, dessablage et dégraissage sont regroupés dans un même bassin pour effectuer ce qui permet des économies d'énergie et de place *(figure 8).*



© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon

Figure 8 : Dessablage-dégraissage

a. Schéma de fonctionnement

b. Bassins et pont racleur qui avance (Seine aval)

Débarrassée des matières encombrantes qu'elle contenait à son arrivée à la station d'épuration, l'eau devient un produit homogène qu'il est possible de transporter par pompage. Elle peut désormais subir les traitements successifs d'épuration des eaux.

B. DÉCANTATION PRIMAIRE

Elle est destinée à débarrasser les eaux usées des matières en suspension (MES) constituées principalement de matières organiques. Il s'agit essentiellement d'un processus physique qui permet, par la seule force de gravité, de séparer les MES, facilement décantables, de la fraction liquide. On laisse reposer les eaux usées dans des bassins (décanteurs) afin que les MES, plus lourdes, tombent au fond. Leur accumulation forme une couche appelée "boues primaires". Ces boues sont ensuite envoyées vers leur propre filière de traitement *(voir chapitre IV. page 47).*

Plusieurs technologies peuvent être mise en œuvre, parmi lesquelles certaines se sont révélées plus compactes que d'autres.

1/ *DÉCANTATION*

Les matières en suspension laissées dans un liquide au repos sont soumises à plusieurs forces : la force de **gravité** qui est l'élément moteur permettant la chute de la particule, la **poussée d'Archimède et les forces de frottement** qui ralentissent sa vitesse de chute. Pour qu'une particule soit retenue dans le **décanteur** alimenté en continu par de l'eau brute, il faut que sa **vitesse de chute** soit supérieure à la **vitesse ascensionnelle de l'eau** dans l'ouvrage (cette dernière est obtenue en divisant le débit horaire d'eau usée introduite dans le bassin par la superficie du décanteur), et que la résultante puisse vaincre les forces de frottement. Ainsi, la résultante des forces en présence étant dirigée vers le bas, la particule descend et rejoint le fond de l'ouvrage.

• *Décantation classique*

Dans la pratique, les décanteurs sont dimensionnés à une vitesse ascensionnelle de l'eau de l'ordre de 2 m/h en débit moyen, vitesse pouvant atteindre 4 m/h lors des débits de pointe, ce qui permet de retenir les particules dont la taille est comprise entre 2 µm et 1 cm.

Les décanteurs primaires peuvent être circulaires ou rectangulaires, à flux d'eau entrant horizontal ou vertical. Les décanteurs circulaires présentent l'avantage d'être plus faciles à racler puisqu'il suffit de disposer d'un pont tournant sur l'axe central ; le fond du bassin est alors incliné pour faciliter la récupération des boues au centre *(figure 9)*.

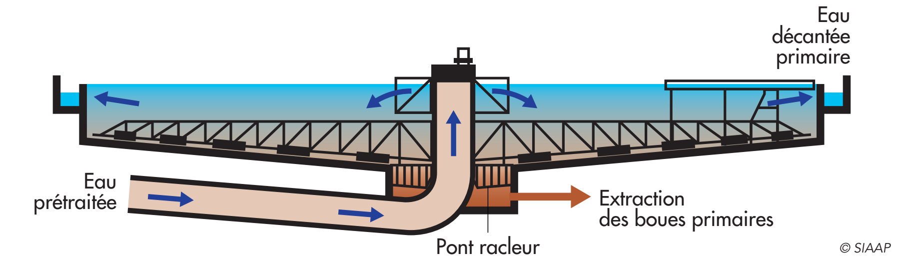


Figure 9 : Décanteur circulaire à pont tournant sur l'axe central
a. Schéma de fonctionnement



b. Décanteur en chômage technique (Seine aval)

Les **boues** sont rassemblées – par un système de **raclage de fond** – dans **une trémie** d'où elles sont extraites par pompage. Ce premier raclage est doublé par un système de raclage **de surface.** Il s'agit de récolter les graisses qui auraient pu échapper au prétraitement. Dans ce cas, les matières flottantes sont ramenées vers la périphérie de l'ouvrage où une trémie les dirige vers le prétraitement. Une cloison siphoïde située à proximité du déversoir empêche l'évacuation de ces graisses avec l'eau décantée.

L'eau débarrassée des matières décantables est évacuée par surverse et conduite vers l'étape suivante.

Les boues primaires

Les boues primaires, parfois aussi appelées "boues fraîches", sont obtenues lors de la décantation primaire. Elles sont constituées essentiellement de matières organiques. Elles ont une concentration de l'ordre de 4 à 5 % de matières sèches, soit 40 à 50 g/l. Elles contiennent environ 70 % de matières volatiles. Extrêmement putrescibles, elles doivent être rapidement traitées. Le volume journalier de boues primaires est de l'ordre de 0,5 % du débit d'eau. Le SIAAP traite environ 2,5 millions de m^3/j et génère donc approximativement 12 500 m^3 de boues primaires quotidiennement. Ces dernières présentent un fort potentiel de valorisation agronomique et énergétique, via le biogaz.

• *Décantation lamellaire*

De conception plus moderne, la décantation lamellaire est basée sur l'augmentation de la surface de séparation solide-liquide par la mise en place, dans le bassin de décantation, de fines plaques inclinées et disposées en parallèle. Elle combine trois avantages *(figure 10)* :
- la hauteur de chute des particules est réduite ;
- la surface de décantation est accrue ;
- l'inclinaison des lamelles permet le glissement accéléré des particules vers le fond du bassin.

Il existe des **décanteurs lamellaires** à plaques parallèles ou à tubes, inclinés à 60°. Une distance minimale entre les lamelles doit être respectée pour éviter le colmatage. Outre un temps de passage des eaux usées 6 à 20 fois plus court qu'avec un décanteur classique, le décanteur lamellaire offre l'avantage d'un encombrement réduit[25] pour des rendements épuratoires et des débits traités équivalents.

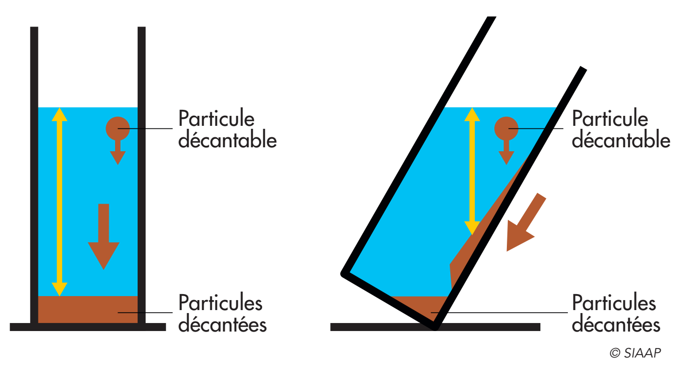




Figure 10 : Décantation lamellaire à plaque
a. Hauteur de chute de surfaces horizontale et oblique
b. Décanteur lamellaire

Avec un décanteur classique ou lamellaire, le pourcentage de matières en suspension éliminées est de 50 à 65 %, celui de la DBO5 éliminée est de 20 à 35 %, avec des coûts de fonctionnement faibles.

25/ *Guide technique de l'assainissement*, voir note n°18.

2/ DÉCANTATION PHYSICO-CHIMIQUE

La décantation physique telle qu'elle vient d'être décrite ne permet pas de traiter les particules les plus fines, les **colloïdes**, dont le diamètre est compris entre 3 et 200 nm. En effet, les colloïdes ne décantent pas spontanément et cela pour deux raisons : leurs vitesses de chute sont trop faibles et ils sont chargés négativement, ce qui engendre des forces de répulsion entre les particules. La décantation simultanée des colloïdes avec les MES est rendue possible par l'ajout de **produits chimiques** qui neutralisent ces charges et alourdissent l'amas, d'où le terme de **décantation "physico-chimique",** cette dernière comprend trois étapes.

• *Coagulation*

La coagulation permet la **suppression des forces de répulsion électrostatiques** par un ajout de **sels métalliques,** dont les cations (Al^{3+} ou Fe^{3+}) vont neutraliser les colloïdes chargés négativement et permettre l'agglomération des particules les plus fines, c'est la formation du **floc.** Un coagulant couramment utilisé est le **chlorure ferrique** ($FeCl_3$) en solution (il existe aussi des coagulants de synthèse, mais ils sont très onéreux). Ce réactif est ajouté dans une cuve en amont de la décantation *(figure 11)*. Une agitation rapide permet d'homogénéiser sa concentration en réactif dans le flux à traiter. Si le but de la coagulation par les sels de fer est d'éliminer les MES et les matières colloïdales, elle prend aussi en charge une partie du **phosphore** dissous, qui, par réaction avec les sels métalliques, passe sous forme insoluble et décantable.

• *Floculation*

Un floculant est introduit pour jouer le rôle de **liant entre les flocs.** Ceux-ci s'agglomèrent en flocons de plus en plus volumineux et ils s'alourdissent. Ils ont alors une masse et donc une vitesse de chute suffisamment importantes pour permettre leur décantation rapide. Le floculant, appelé **"polymère",** peut être organique (alginates de sodium, amidons) ou de synthèse. La floculation se fait dans une cuve à agitation lente, afin d'uniformiser le réactif dans l'effluent à traiter tout en évitant la destruction des flocs formés.

• *Décantation*

Une fois ces deux phases de traitement chimique effectuées, l'effluent est conduit dans un décanteur, généralement lamellaire, au fond duquel les flocs formés vont se déposer, puis en être extraits.

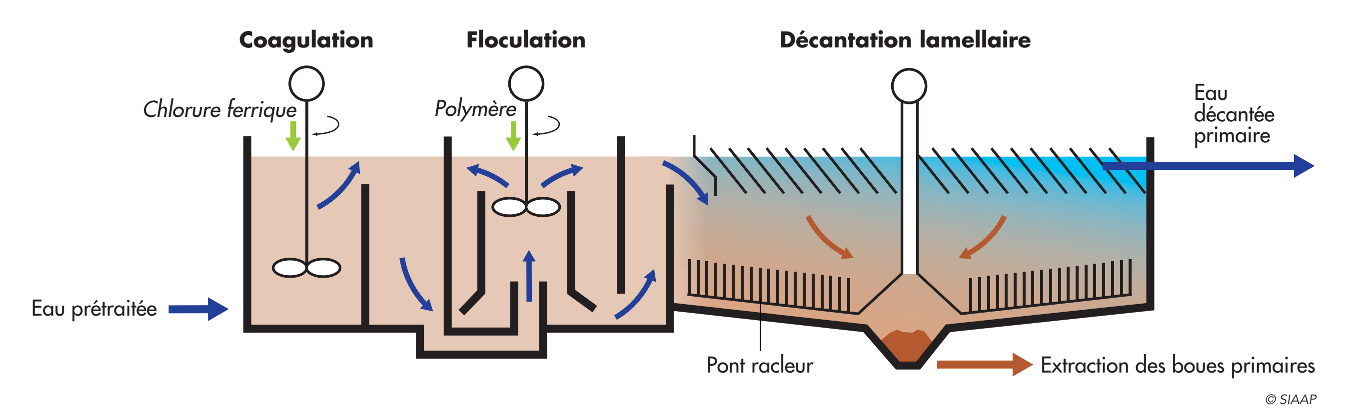
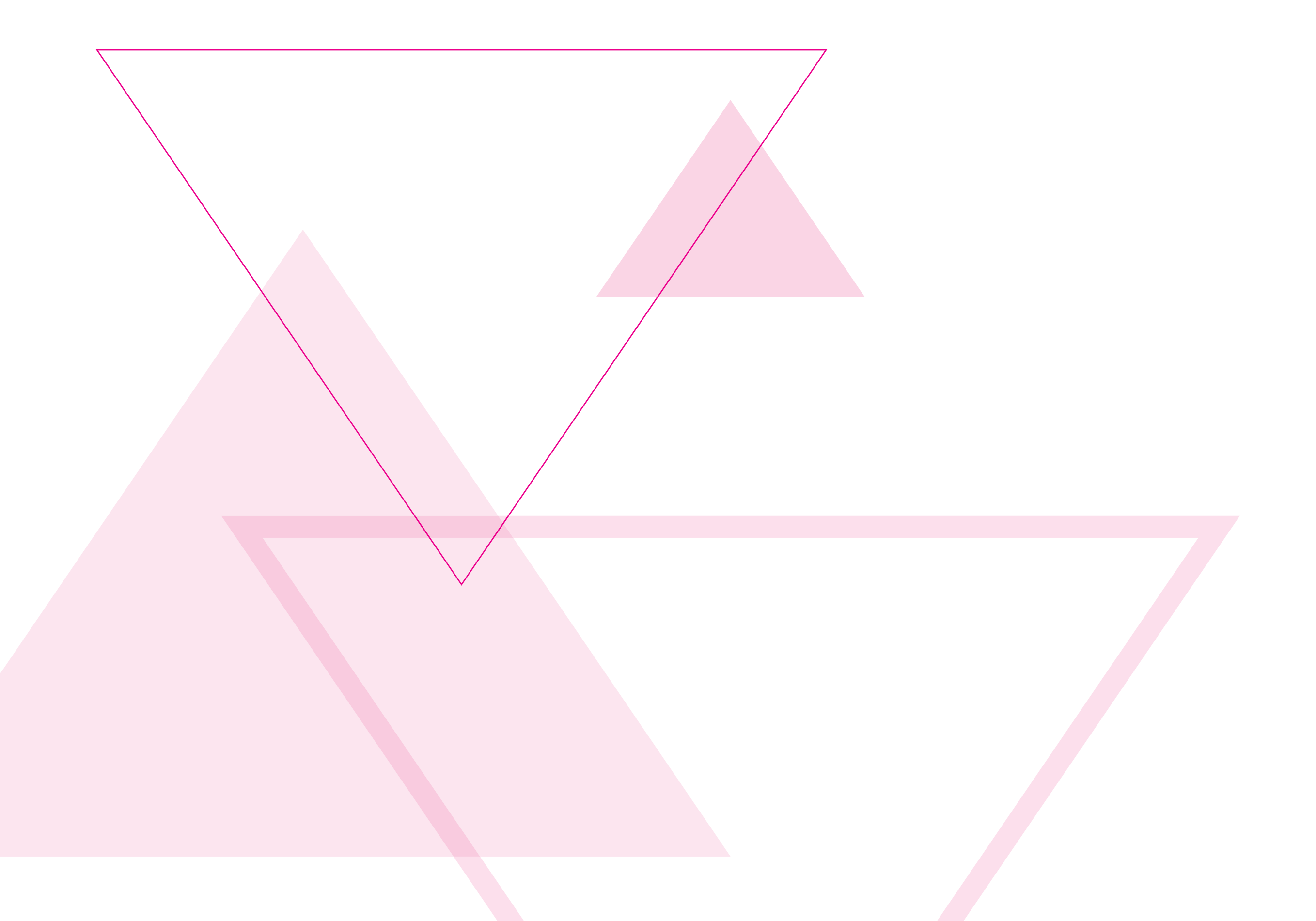


Figure 11 : Décantation physico-chimique

Ce type de décantation permet d'atteindre une meilleure rétention des MES (près de 80 %) avec des ouvrages plus compacts. Il permet également d'éliminer les orthophosphates. Cependant, les coûts d'exploitation sont plus élevés en raison de l'utilisation de produits chimiques. Il existe une grande variété de technologies de décanteurs basées sur ces principes, avec différents sens de circulation du fluide, des formes différentes de lamelles, l'ajout de micro-sable, la recirculation des boues, etc. La décantation physico-chimique est utilisée en amont des traitements secondaires ne supportant pas les fortes charges en matières en suspension, notamment les biofiltres.

LES BONS GESTES POUR LE BON FONCTIONNEMENT D'UNE STATION D'ÉPURATION

Il est recommandé d'éviter de jeter des restes alimentaires dans les éviers (pâtes, légumes, etc.) pour ne pas surcharger le **traitement primaire.** L'utilisation de broyeurs d'évier pour les déchets organiques est d'ailleurs interdite en France[26].
Il est préférable de récupérer cette matière organique et de la composter quand cela est possible ou de la jeter avec les ordures ménagères.



26/ L'article R1331-2 du Code de la santé publique indique qu'il est interdit d'introduire des déchets solides dans les systèmes de collecte des eaux usées, y compris après broyage.

C. TRAITEMENTS SECONDAIRES

Ils ont pour fonction d'éliminer les **matières dissoutes,** c'est-à-dire les composés organiques ou minéraux **solubles dans l'eau.** Ils sont basés sur des mécanismes **biologiques** développés par certains **micro-organismes.** Ces derniers peuplent tous les milieux de la planète et participent activement à l'équilibre des écosystèmes. Ils assurent notamment la dégradation de la matière organique en matière minérale, assimilable par les végétaux. Ainsi, lors d'une pollution, les micro-organismes présents naturellement dans les rivières prolifèrent et sont capables de dégrader les différentes pollutions dissoutes en les utilisant pour leur propre croissance. C'est le principe d'**autoépuration** d'un cours d'eau, reproduit à grande échelle par les hommes dans le cadre de l'épuration biologique des eaux usées.

Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE
> L'autoépuration

• Les micro-organismes et l'épuration des eaux usées

Regroupant une très grande diversité d'espèces, les micro-organismes possèdent des spécificités propres et, corrélativement, des capacités distinctes d'épuration des eaux. Quatre groupes sont impliqués dans l'épuration des eaux usées.

Les bactéries

Organismes **unicellulaires** dont la taille est de l'ordre de 1 µm, les bactéries consomment les matières minérales et organiques constituant la pollution. Elles se reproduisent par **division binaire.** Chaque cellule mère se divise en deux cellules filles strictement identiques (clones). Dans des conditions optimales, la croissance d'une culture est exponentielle. À titre d'exemple, la population de la bactérie *Escherichia coli* peut doubler toutes les vingt minutes. Au bout de huit heures, elle compte 2^{24} cellules (16 777 216), soit le nombre d'habitants de la mégapole Osaka-Kyoto-Kobé. Le temps que met une population pour doubler, le **temps de génération,** est un paramètre important pour le traitement des eaux. Il varie en fonction des espèces et des conditions environnementales considérées. Les bactéries *(figure 12)* constituent le principal groupe impliqué dans l'épuration des eaux, à la fois du fait de leur forte présence dans les eaux usées et les matières fécales (un gramme de fèces contient 10^{12} bactéries)[27] et de leur capacité à dégrader les pollutions.

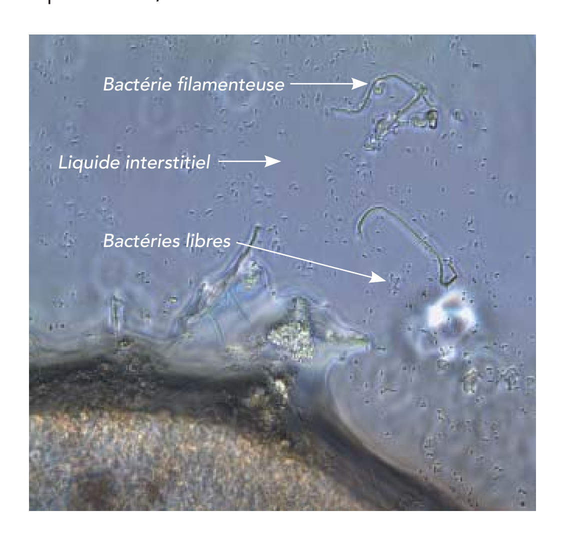


***Figure 12 : Bactéries** (Boue activée observée au microscope optique à contraste de phase (x 200))*

Les protozoaires

Ce sont des organismes **unicellulaires** de taille plus importante que celle des bactéries (entre 10 et 300 µm). Leur croissance est plus lente. Leur morphologie est plus différenciée : certains possèdent des **cils** (ciliés), d'autres des **flagelles** (flagellés), ou encore des **pseudo-pieds** (rhizopodes). Les protozoaires *(figure 13)* se nourrissent de matière organique (ils sont organotrophes) et de bactéries libres ou fixées. Ils vont donc participer à la dépollution de l'eau et à sa clarification.

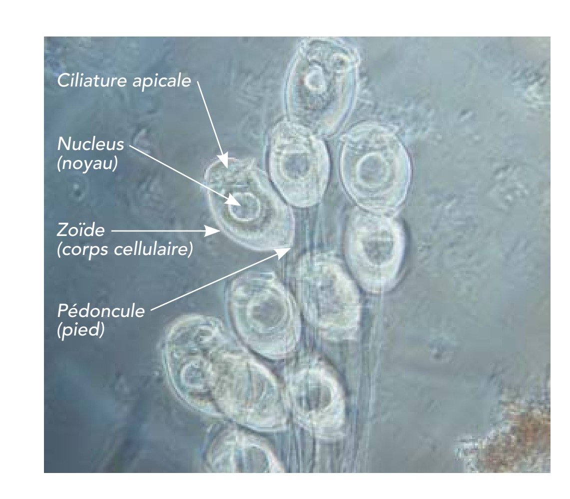
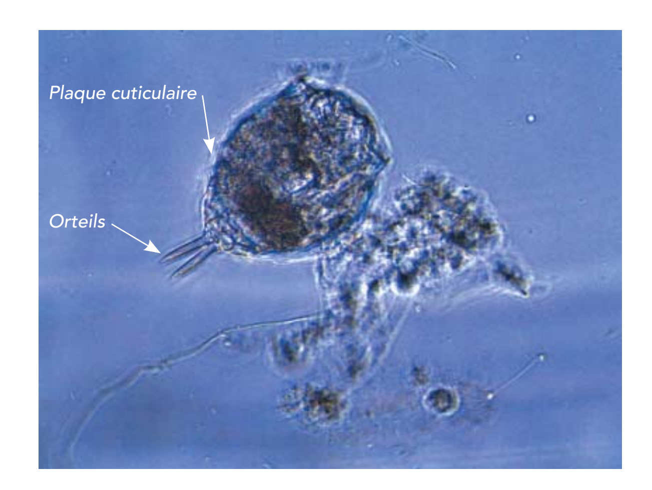


***Figure 13 : Protozoaires ciliés – bouquet de Péritriches (Vorticella sp.)** (Eau de lavage des biofiltres de la Nit de Seine aval observée au microscope optique à contraste de phase (x 200))*

27/ Agence française de sécurité sanitaire et alimentaire (AFSSA), intervention sur la microbiologie dans le cadre du séminaire Sureté, innovation et maîtrise de l'énergie dans les procédés et les équipements frigorifiques (Simfri), O. Firmesse, 2007.



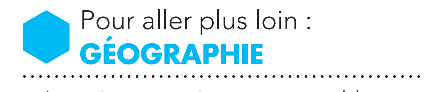
Les métazoaires

Organismes **pluricellulaires,** les métazoaires se nourrissent de bactéries et de protozoaires. Ils participent donc, par leur rôle de prédateur, à l'équilibre des différentes populations composant les biomasses impliquées dans l'épuration des eaux.

Figure 14 : Vers métazoaire - Rotifère (Lecane sp.)
(Eau de lavage des biofiltres de la Nit de Seine aval observée au microscope optique à contraste de phase (x 200))

Les virus

D'une taille comprise entre 20 à 200 nm, les virus ne dégradent pas les pollutions, mais participent néanmoins à l'épuration des eaux usées. Ce sont des parasites. Ils ont besoin d'une cellule hôte pour survivre et se multiplier. Lorsqu'ils quittent leur hôte, ils provoquent sa destruction, c'est le phénomène de lyse. Les virus des bactéries, appelés **"bactériophages",** sont le plus fréquemment retrouvés dans les excréments, le sol et les eaux usées. Ils sont impliqués dans la régulation des populations bactériennes **(clarification)** des eaux en provoquant une mortalité non négligeable.


Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> Les micro-organismes responsables des maladies hydriques


Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> Les micro-organismes des eaux douces franciliennes

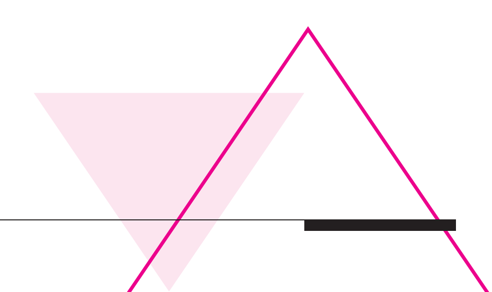
Parmi tous ces micro-organismes épurateurs, ce sont essentiellement les **bactéries** qui assurent l'épuration des pollutions. Les autres micro-organismes ont davantage un rôle de régulation des populations bactériennes.

• *Les réactions de dégradation des pollutions dissoutes*

Les bactéries épuratrices préexistent dans le réseau d'égouts et sont véhiculées jusqu'aux stations d'épuration. Ce sont les conditions environnementales (concentration en dioxygène dissous, température, potentiel redox, lumière, pH, etc.) et les paramètres de dimensionnement (temps de séjour, âge des boues) maintenus par l'épurateur dans chaque bassin qui permettent de sélectionner les populations adaptées à chaque type de pollution. La présence ou non d'**oxygène** détermine trois types de milieux :

- **aérobie :** milieu aéré, présence d'oxygène, le plus souvent par aération forcée ;
- **anoxie :** pas d'aération, les nitrates constituent la seule source d'oxygène pour certaines bactéries ;
- **anaérobie :** pas d'oxygène dissous, ni de nitrates.

Comme cela a été présenté pages 17 et 18, les matières dissoutes peuvent être décrites selon une typologie regroupant trois catégories principales : les pollutions carbonées, azotées et phosphorées. À l'origine et dans leur configuration de base, les traitements secondaires ont essentiellement été employés pour éliminer les composés **carbonés.** En effet, vers la fin des années 1960, la qualité de l'eau étant catastrophique (il y avait ainsi dans la Seine une zone sans oxygène dissous, de Paris jusqu'à plus de 50 km en aval), il était urgent et prioritaire de traiter ce type de pollution.



À la fin des années 1980, les procédés ont été progressivement modifiés et/ou complétés pour traiter par voie biologique les composés **azotés.** Plus tard, d'autres avancées ont permis le traitement des composés **phosphorés.** Ces dernières années, la modernisation des usines s'est accélérée sous l'impulsion de la **réglementation européenne,** plus précisément par la Directive eaux résiduaires urbaines (DERU) qui exige des rendements d'élimination des pollutions dans certains secteurs géographiques caractérisés comme sensibles *(voir encadré suivant).*

Traiter l'azote et le phosphore dans les zones sensibles

Le traitement de l'azote et du phosphore par les stations d'épuration n'est pas obligatoire, sauf dans des zones particulières, décrites comme sensibles par la DERU publiée en 1991 (encadré sur la DERU page 10). Trois catégories de zones sensibles sont définies[28] :

- *les masses d'eau (douce ou côtière) victimes ou menacées d'**eutrophisation** à brève échéance ;*
- *les eaux douces de surface destinées au **captage d'eau potable** et qui pourraient contenir une concentration de nitrates supérieure à la norme admise ;*
- *les zones pour lesquelles un traitement complémentaire est nécessaire.*

Les stations d'épuration rejetant dans ces zones doivent donc mettre en place des traitements adaptés en particulier pour les pollutions azotées et phosphorées dans les stations d'épuration de plus de 10 000 EH (figure 15) pour se conformer aux normes de rejet[29].

Capacité de station d'épuration (EH)	Paramètre	Concentration	Rendement d'élimination
entre 10 000 et 100 000	Phosphore total	2 (mg/l)	80 %
	Azote total	15 (mg/l)	70 %
supérieur à 100 000	Phosphore total	1 (mg/l)	80 %
	Azote total	10 (mg/l)	70 %

Figure 15 : Prescriptions relatives aux rejets des stations d'épuration en zone sensible

*En 2004, la Cour de justice des Communautés européennes (aujourd'hui Cour de justice de l'Union européenne) a engagé une procédure contre la France, jugeant que la liste des zones sensibles que cette dernière avait établie n'était pas suffisamment complète. Fin 2005, la France a donc requalifié en zones sensibles des pans entiers de son territoire : la **totalité du bassin hydrographique de la Seine** par exemple. Toutes les stations d'épuration de la région parisienne, dont les usines du SIAAP, ont donc été concernées par cette mesure. Le SIAAP a alors lancé des travaux de grande envergure dans ses installations les plus anciennes afin d'atteindre les rendements épuratoires exigés (voir encadré VI. D. page 80).*

Les **réactions biochimiques** permettant la dégradation des pollutions carbonées, azotées et phosphorées sont présentées ci-dessous.

La pollution carbonée

L'élimination de la pollution carbonée est réalisée par des **bactéries hétérotrophes**. Ces dernières utilisent le carbone organique à la fois comme source d'énergie et pour la **synthèse cellulaire**. Elles se caractérisent par des temps de reproduction courts, de l'ordre de vingt minutes. Leur développement est favorisé par la présence de deux facteurs :

- des substrats carbonés biodégradables (sucres, graisses, protéines) mesurés par la DBO5 ;
- de l'oxygène apporté par une aération forcée (aérobie) ou sous forme liée (anoxie, présence de nitrates).

La matière organique est transformée en **dioxyde de carbone** (CO_2), en **eau** (H_2O) et en nouvelles **bactéries épuratrices** (les boues en excès).

28/ Agence de l'eau Seine-Normandie : http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=4444
29/ Description dans l'arrêté du 22/06/2007.
30/ Carte des zones sensibles : http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/recueil/02_Plan_Borloo/01_plan_action_eru_internet.pdf page 10.

La pollution azotée

Un rejet d'azote réduit dans un cours d'eau entraîne une importante consommation d'oxygène, un peu plus de 4 mg d'oxygène par mg d'azote. Pour éviter à la rivière cette consommation d'oxygène, supprimer les risques de toxicité de l'ammoniac et limiter la production de nitrates, il faut éliminer ces molécules, ce qui nécessite des réactions d'oxydo-réduction successives (nitrification, dénitrification).

- **La nitrification** est un processus en deux étapes (nitritation et nitratation) permettant la transformation de l'azote ammoniacal en nitrates. Elle est contrôlée par l'action de **bactéries autotrophes** aérobies qui utilisent l'oxydation de leur substrat (l'azote ammoniacal) comme seule source d'énergie et le gaz carbonique comme source exclusive de carbone. Elles se caractérisent par des temps de reproduction très long, de l'ordre de vingt-quatre heures, et leur activité est ralentie aux plus faibles températures. La nitritation est effectuée par des bactéries nitreuses *(Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* et *Nitrospira)*, la nitratation est assurée par des bactéries nitratantes *(Nitrobacter)*. La nitrification conduit d'abord à l'oxydation des ions **ammonium** (NH_4^+) en **nitrite**, c'est la nitritation, puis à l'oxydation du nitrite en nitrate (NO_3^-), c'est la nitratation.

- nitritation : $NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$

- nitratation : $NO_2^- + 1/2\ O_2 \rightarrow NO_3^-$

Le développement de ces bactéries est favorisé par la présence de deux facteurs :
- l'ammonium ;
- l'oxygène apporté par une aération forcée.

- **La dénitrification** est un processus au cours duquel de nombreux types de bactéries hétérotrophes utilisent les **nitrates** comme source d'oxygène pour oxyder la matière organique. Au cours du processus, les nitrates sont progressivement réduits, le terme final étant du **diazote**, gaz inoffensif composant 79 % de l'air que nous respirons.

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

La dénitrification se déroule en anoxie – c'est-à-dire un milieu dans lequel une concentration en oxygène dissous nulle est maintenue – en amont du traitement du carbone avec une recirculation des nitrates, et/ou en aval de la nitrification si l'on ajoute du carbone provenant d'une source exogène, comme le méthanol. Moyennant un dimensionnement adapté, la nitrification et la dénitrification peuvent être réalisées simultanément.

La pollution phosphorée

L'élimination de la pollution phosphorée peut être obtenue par des bactéries, notamment du genre *Acinetobacter.* Elles sont capables d'assimiler de grandes quantités d'**orthophosphates,** une forme minérale dissoute de phosphates, quand, après une période de privation, on les remet en présence d'oxygène. L'**alternance des phases aérobie et anaérobie**, souvent séparées dans l'espace (dans deux bassins différents), entraîne un stress qui conduit à une surassimilation de phosphore par les bactéries ce qui permet une diminution globale des phosphates dans l'eau. Le phosphore accumulé dans les corps cellulaires bactériens est extrait avec la biomasse des boues en excès.

• *Les procédés de traitements biologiques*
Les procédés biologiques peuvent être regroupés en deux classes : naturels et artificiels.

- **Les procédés biologiques naturels** reposent sur une épuration par le sol, associée parfois à de la végétation (épandage sur le sol, bassin de lagunage, filtres plantés de roseaux). Ces techniques extensives sont peu utilisées en France sur des ouvrages de grande capacité, du fait notamment des surfaces importantes qu'elles nécessitent. Ces procédés biologiques naturels ne sont pas mis en œuvre par le SIAAP et ne sont donc pas développés dans ce livret.

- Afin de parfaire l'épuration biologique, d'accélérer les processus et de réduire l'emprise foncière, des **procédés biologiques artificiels** ont été développés. Ils peuvent être classés en deux grandes catégories en fonction du mode de **culture des bactéries,** celles-ci peuvent **libres** ou **fixées** sur un support.



> *L'expérimentation de l'épandage agricole au XIXe siècle et le choix de l'épuration biologique*

Relation entre la charge entrante et l'épuration biologique

*Pour un réacteur biologique donné, la population bactérienne présente dépend de la quantité de **pollution carbonée** introduite par jour.*

- *Si on introduit beaucoup de pollution carbonée, on produit beaucoup de boues en excès ; il faut alors les extraire chaque jour. Seules les **bactéries hétérotrophes** ont le temps de se reproduire et elles n'éliminent que la pollution carbonée.*

- *Si on introduit peu de pollution carbonée par jour, on produit peu de boues en excès ; celles-ci vont donc rester longtemps dans le bassin (l'âge des boues augmente). Les **bactéries autotrophes,** dont le temps de régénération est plus long que celui des hétérotrophes, ont le temps de se reproduire, permettant ainsi d'éliminer l'azote.*

Selon les cas, les ouvrages biologiques peuvent présenter une seule zone (aérée, permettant l'élimination de la seule DBO5) ou plusieurs zones (aérée, anoxique, voire anaérobie, pour éliminer aussi azote et phosphore).

1/ CULTURES LIBRES

Le principe d'une **culture libre** repose sur la constatation suivante : une eau résiduaire dans laquelle on fait passer de l'air voit apparaître une flore bactérienne qui, progressivement se développe au détriment des matières organiques polluantes. Dans des conditions idéales d'aération, ces micro-organismes se multiplient, secrètent des **exopolymères** et s'agglomèrent en petits flocons qui se déposent lorsqu'on arrête l'aération ; cette masse est appelée "**floc bactérien"** *(figure 16).* Cette structure est capable d'absorber et de stocker les particules non directement assimilables, puis par l'attaque d'enzymes bactériens de les couper en morceaux de plus en plus petits jusqu'à l'obtention d'un substrat assimilable par la bactérie. Progressivement, des protozoaires puis des métazoaires s'intègrent dans les flocs. Cette structure présente un second avantage : la biomasse ainsi regroupée sur des flocons est suffisamment dense et lourde pour décanter naturellement.



© SIAAP

Figure 16 : Floc bactérien
(Boue activée observée au microscope optique à contraste de phase (x 200))

La technique en culture libre la plus courante est appelée **"boues activées"**. Il existe plusieurs variantes de ce procédé d'épuration, deux sont présentées dans ce livret *(voir encadré sur les réacteurs biologiques séquentiels p. 41 et encadré sur les bioréacteurs à membranes p. 46).*

Les boues activées

Depuis sa création en 1914, la technique des boues activées a connu le plus grand développement. La majorité des stations d'épuration françaises utilisent ce procédé. Dans la configuration la plus simple, l'objectif est d'éliminer de la pollution carbonée. Schématiquement, le processus se décompose en deux phases successives et nécessite deux bassins (figure 17).

• Le réacteur biologique ou bassin d'aération

*C'est un bassin d'épuration alimenté en continu dans lequel l'eau à épurer est mise en présence de colonies bactériennes hétérotrophes et d'oxygène. Le temps de séjour global dans ce type d'ouvrage varie de deux heures à plus de vingt-quatre heures. La diffusion d'air permet d'assurer deux fonctions : l'**oxygénation** nécessaire à la croissance des bactéries et le **brassage** des flocs bactériens qui sont ainsi maintenus en suspension. Dans la plupart des cas, l'injection d'air comprimé se fait depuis le fond du bassin par des turbines et des brosses, et entraîne la formation de bulles d'air dans l'eau (c'est le cas au SIAAP) ; parfois elle est réalisée en surface.*

• Le décanteur secondaire ou clarificateur

*Dans le décanteur secondaire, les flocs bactériens décantent, libérant ainsi l'eau épurée, c'est la **clarification.** Les **boues secondaires ou biologiques** obtenues sont ensuite renvoyées dans le bassin d'aération afin de conserver et de réutiliser la biomasse épuratrice, tandis que l'eau épurée est évacuée par surverse pour rejoindre le plus souvent le milieu naturel. Régulièrement, une partie des boues provenant de la croissance bactérienne **(boues en excès)** est extraite et transférée vers la filière de traitement des boues pour maintenir une population constante.*

Les procédés par boues activées présentent certains inconvénients, liés notamment à l'incompatibilité de la vie des micro-organismes avec certains effluents – ceux contenant des produits chimiques par exemple. Par ailleurs, l'emprise au sol des bassins d'aération et des clarificateurs est importante car les ouvrages sont volumineux. Cependant, cette technique bénéficie de coûts d'investissement et d'entretien raisonnables[31]. Les ouvrages sont en outre faciles à piloter et sont plus résistants que les biofiltres.

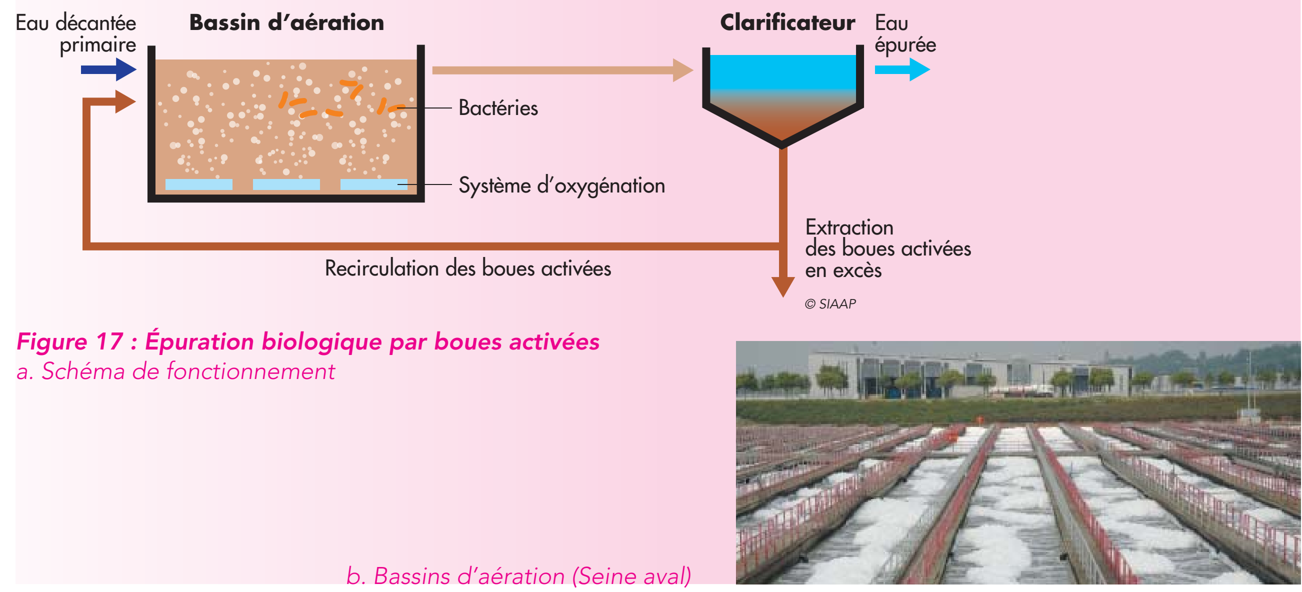


Figure 17 : Épuration biologique par boues activées

a. Schéma de fonctionnement

b. Bassins d'aération (Seine aval)

© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon

31/ *Guide technique de l'assainissement*, voir note n°18.

Les réacteurs biologiques séquentiels

Plus connu sous son acronyme anglophone SBR (Sequencing Batch Reactor), le procédé des réacteurs biologiques séquentiels est plus utilisé en assainissement industriel qu'en assainissement collectif. Ce procédé permet de réaliser toutes les étapes dans un seul bassin par alternance de six séquences différentes (figure 18). L'ensemble des séquences dure de quatre à douze heures.

- ***Remplissage :** alimentation du bassin en eau usée.*
- ***Mélange :** aération et brassage.*
- ***Traitement biologique :** élimination des pollutions dissoutes.*
- ***Décantation :** clarification par décantation des matières en suspension.*
- ***Vidange :** évacuation de l'eau traitée.*
- ***Repos :** repos du milieu bactérien et extraction des boues en excès.*

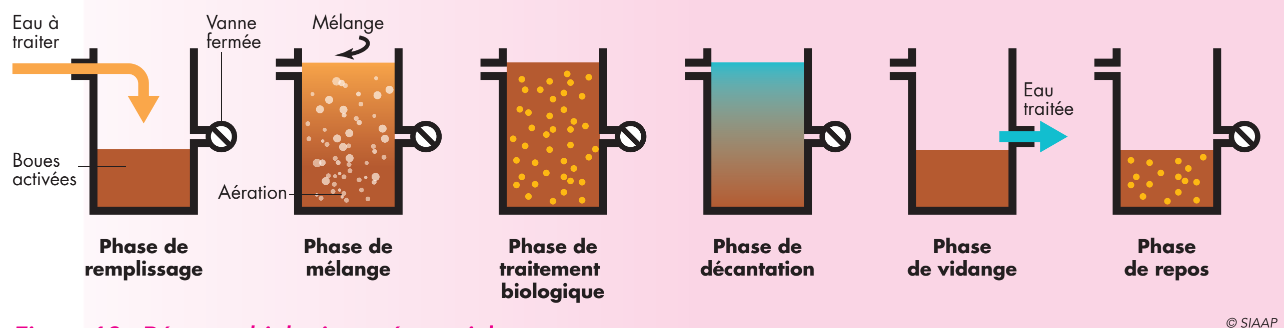


Figure 18 : Réacteur biologique séquentiel

2/ CULTURES FIXÉES

Les procédés par cultures fixées sont dérivées d'une intensification des processus naturels d'épuration par le sol, où les bactéries adhèrent sur des supports. L'utilisation du principe de fixation des bactéries remonte au XIXe siècle, à l'époque où on irrigait les champs d'épandage avec les eaux usées brutes. Les procédés par cultures fixées ont connu un premier développement au début du XXe siècle avec l'épuration sur sol artificiel *(les lits bactériens, encadré p. 42)*. À la fin du XXe siècle, deux contraintes ont conduit à leur renouveau : d'une part, des objectifs de qualité des rejets de plus en plus stricts et, d'autre part, des extensions des capacités des stations d'épuration en zone urbaine dense, donc avec peu de superficie disponible.

Le principe des cultures fixées consiste à faire percoler l'eau à traiter à travers un **matériau support** sur lequel se développent spontanément des **micro-organismes.** La biomasse se fixe grâce à un exopolymère, puis forme progressivement une couche appelée **"biofilm".** La production de nouvelles cellules bactériennes augmente l'épaisseur de ce dernier. L'oxygène et les matières dissoutes diffusent à travers celui-ci. Les strates les plus profondes ne contiennent plus d'oxygène. Bactéries aérobies et anaérobies se répartissent de fait sur l'épaisseur du biofilm. En concentrant ainsi la biomasse active, il est possible de traiter des volumes plus importants. Par ailleurs on distingue des techniques anciennes plus rudimentaires (lits bactériens, disques biologiques), et d'autres modernes et plus performantes (biofiltres).

Les lits bactériens

Le principe de fonctionnement des lits bactériens, aussi dénommés "filtres percolateurs" ou "filtres ruisselants", consiste, grâce à un distributeur rotatif (sprinkler), à faire ruisseler en continu les eaux à épurer sur des matériaux poreux servant de support aux micro-organismes (figure 19). Ces matériaux peuvent être minéraux (des cailloux ou de la roche volcanique telle la pouzzolane) ou synthétiques. Le film biologique formé par les bactéries se décroche au fur et à mesure que l'eau percole, assurant ainsi un autocurage du système. Un décanteur secondaire complète cette installation pour séparer l'eau clarifiée des boues produites. Les nombreux inconvénients de ce procédé - faibles rendements, fréquents colmatages, nuisances olfactives - ne compensent pas suffisamment ses avantages, dont un faible coût de fonctionnement. Très prisé dans les années 1960-1970, l'emploi de ce procédé est devenu très minoritaire en France. On peut toutefois le trouver pour assurer une étape particulière du traitement. En agglomération parisienne, les stations d'épuration du SIAAP n'utilisent plus de lits bactériens depuis 2009.

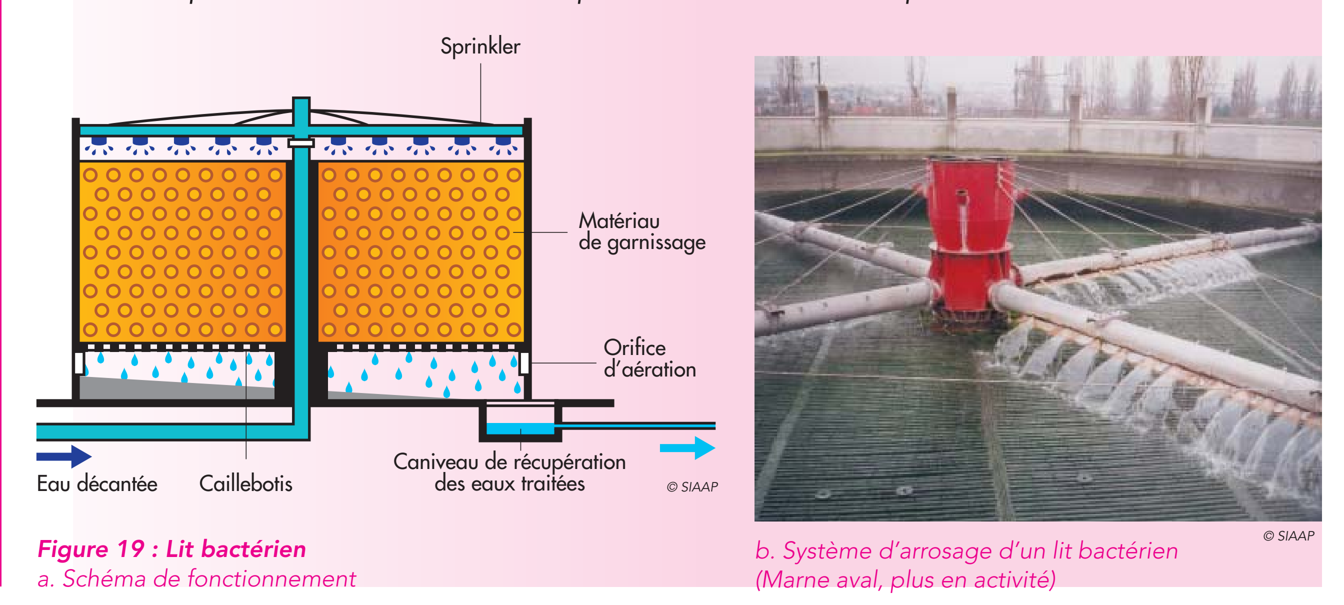


Figure 19 : Lit bactérien
a. Schéma de fonctionnement
b. Système d'arrosage d'un lit bactérien (Marne aval, plus en activité)

Les biofiltres

*La **biofiltration** est un procédé par cultures fixées très intensif, particulièrement adapté aux zones urbaines denses. L'élément central du biofiltre est une couche plus ou moins épaisse (de 2 à 4 mètres) de matériau granulaire fin de quelques millimètres (billes d'argile ou de polystyrène, pouzzolane, sable, charbon actif), appelée **"lit filtrant"**, à travers laquelle l'eau à traiter est injectée en courant ascendant ou descendant (figure 20). Dans ce procédé, l'élimination de la pollution est accomplie par l'association de deux effets :*

- ***l'effet physique de filtration :** les **matières particulaires** s'accumulent à la surface des grains du matériau filtrant au fur et à mesure qu'ils traversent le lit ;*
- ***l'effet biologique de dégradation :** un **biofilm** constitué de micro-organismes se développe à la surface des billes (figure 20b) et permet l'élimination de la **pollution dissoute.** La surface d'échange entre l'eau et le biofilm est ici très supérieure à celle des procédés évoqués précédemment[32].*

Selon les objectifs de traitement, les biofiltres peuvent être équipés d'une insufflation d'air (aérobie pour le traitement de la pollution carbonée et la nitrification) ou pas (anoxie pour la dénitrification). Le principal inconvénient de la biofiltration est qu'il faut périodiquement laver les biofiltres pour éviter leur colmatage par un excès de matières accumulées ou un excès de

32/ *Mémento technique de l'eau*, voir note n°20

croissance de la biomasse. De plus, les coûts d'investissement et d'entretien sont élevés. Au nombre des avantages, on compte la compacité des ouvrages, l'absence de nuisances grâce à la couverture des ouvrages, et la souplesse par rapport aux charges appliquées. Les biofiltres requièrent une alimentation en eau faiblement chargée en MES (pour permettre la décantation physico-chimique) et une exploitation fine pour s'adapter aux variations horaires de charge.

Le temps de séjour global de l'eau dans de tels ouvrages est de l'ordre de une à deux heures.

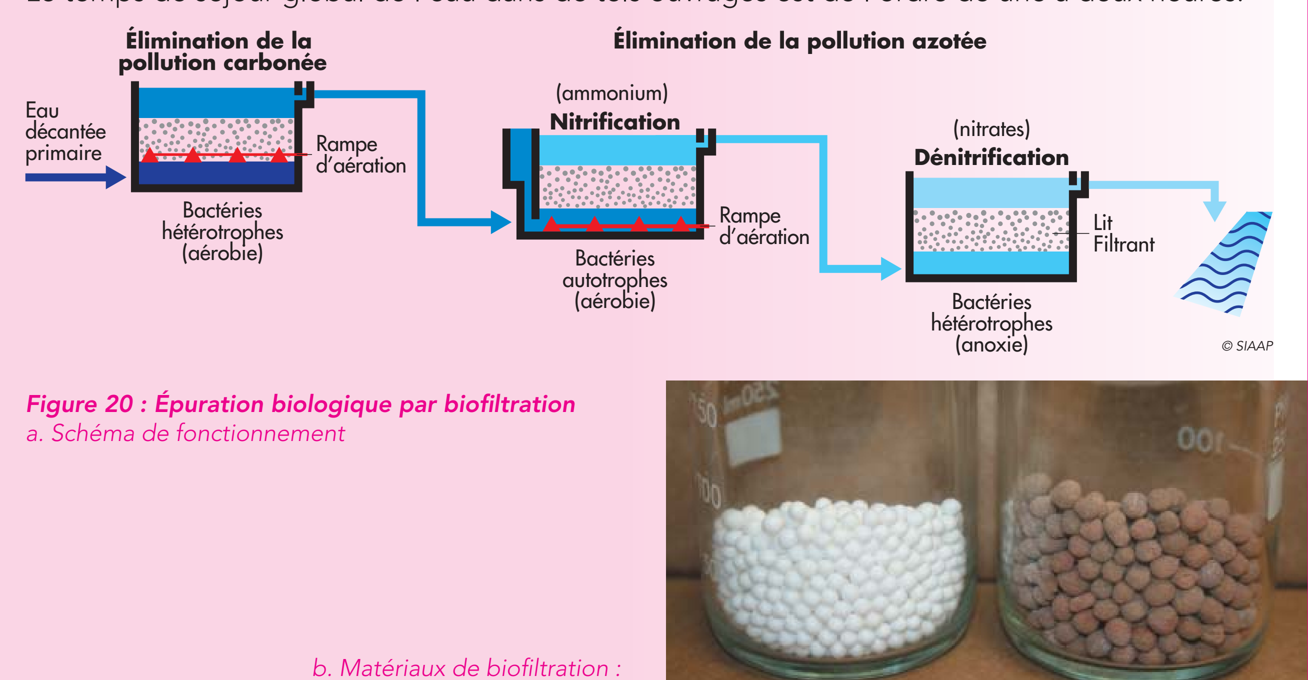


Figure 20 : Épuration biologique par biofiltration
a. Schéma de fonctionnement

b. Matériaux de biofiltration : Biostyrene ® - OTV ; Biolite ® - Degrémont

© SIAAP

LES BONS GESTES POUR LE BON FONCTIONNEMENT D'UNE STATION D'ÉPURATION

Afin de ne pas dégrader la biomasse épuratrice du **traitement secondaire,** il est préconisé de ne pas jeter de produits chimiques avec les eaux usées. Les produits pharmaceutiques doivent être rapportés dans les pharmacies et les autres produits chimiques – notamment ceux utilisés pour le bricolage (caustiques, solvants, peintures, colles, décapants, etc.) – doivent être déposés dans les déchetteries.
Il est également recommandé de ne pas surdoser les produits d'hygiène et les détergents, et de choisir des produits ayant un impact réduit sur l'environnement (écolabels).
Dans le jardin, il est important de ne pas épandre de produits phytosanitaires (pesticides) à proximité du réseau d'égouts ; ils y seraient conduits par la pluie.

Les procédés d'épuration biologique sont également utilisés pour l'assainissement non collectif. Selon la nature du sol et différents paramètres (tels que le taux d'humidité), le procédé varie[33]. Toutefois, l'assainissement collectif étant très largement majoritaire en agglomération parisienne, cette thématique ne sera pas traitée dans ce livret.

33/ Service d'assistance technique pour l'épuration et le suivi des eaux (Satese) d'Indre-et-Loire : www.satese37.fr

D. TRAITEMENTS TERTIAIRES

Un traitement plus poussé peut être requis lorsque les eaux traitées sont rejetées dans une **zone sensible** *(tel que défini par la DERU, voir encadré page 37)* ou destinées à un **usage** particulier : zone de baignade, zone conchylicole, prise d'eau pour l'adduction d'eau potable à proximité, irrigation agricole, besoins urbains (arrosage, fontaines publiques), usage industriel (refroidissement). On parle alors de "recyclage de l'eau" ou de **"réutilisation des eaux usées épurées"** (REUE, re-use en anglais). Ces techniques sont notamment utilisées dans les régions du monde où il existe de fortes pénuries d'eau. Extrêmement onéreuses, elles sont peu développées en France.

Un traitement tertiaire consiste par exemple à **éliminer le phosphore résiduel ou les micropolluants biologiques** (micro-organismes) ou **chimiques** (molécules) encore présents dans les eaux traitées et qui menacent ou interdisent les usages envisagés. Dans le cas des micropolluants biologiques, on parle de **"désinfection"** de l'eau lorsqu'il s'agit d'en diminuer la charge bactérienne et virale.

Les techniques employées, souvent issues des traitements de potabilisation, peuvent être physiques (tamisage, microfiltration, adsorption sur charbon actif, membranes, rayonnement ultraviolet), chimiques (chlore, ozone, chaux, floculation) ou biologiques (lagunage, boues activées, rejet dans le sol).

Pour aller plus loin :
GÉOGRAPHIE

> *Épuration différenciée en Australie, gestion intégrée à Singapour*

1/ DÉPHOSPHATATION TERTIAIRE

Lorsque les normes de rejet en **phosphore** ne sont pas atteintes après les traitements secondaires, une déphosphatation physico-chimique est réalisée par ajout de sel de fer (chlorure ferrique). Cela se fait soit en recirculant une portion d'eau après traitement biologique vers la décantation primaire physico-chimique, soit au sein d'une unité spécifique de **clarifloculation.** Dans les deux cas, il se crée une réaction de précipitation du chlorure ferrique avec les phosphates sous la forme d'un phosphate de fer. Ce précipité est piégé avec les boues primaires dans le premier cas, séparé de l'eau par décantation de type lamellaire dans le second cas.

2/ DÉSINFECTION ULTRAVIOLET

Les eaux circulent dans des canaux où elles sont irradiées par des lampes UV à basse, moyenne ou forte pression *(figure 21)*. Les rayonnements UV émettant à une longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm, présentent des **pouvoirs germicides.** Les UV-C, entre 200 et 280 nm sont particulièrement efficaces *(figure 22)*. Cependant, la sensibilité des micro-organismes diffère selon les espèces : certains virus (tels Rotavirus et Poliovirus) sont trois à quatre fois plus résistants que les bactéries comme *Escherichia coli*, les bactéries sporulées le sont dix fois plus et les kystes de protozoaires quinze fois plus. La désinfection ultraviolet technique est utilisée par le SIAAP dans l'une de ses usines d'épuration : Marne aval.



***Figure 21 : Chambre d'irradiation par UV** (Marne aval)*

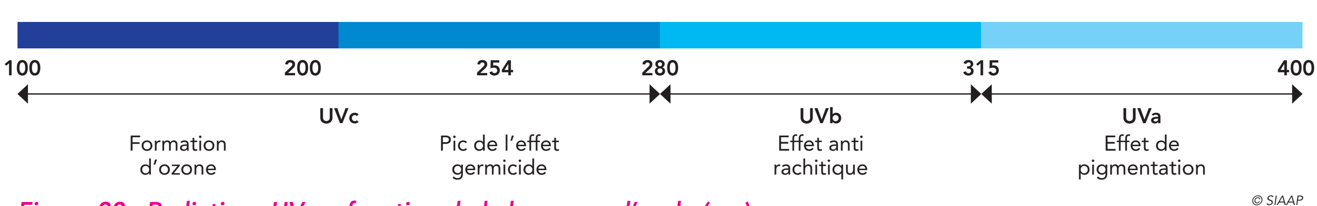


Figure 22 : Radiations UV en fonction de la longueur d'onde (nm)

3/ MEMBRANES

Issues de l'industrie agroalimentaire, les membranes ont fait une percée considérable dans le domaine du traitement de l'eau potable et du dessalement. L'eau traverse une membrane et en ressort sans les molécules qui ont été arrêtées par les pores. Ces **molécules** se retrouvent dans une solution appelée **"rétentat"** ou **"concentrat",** tandis que l'**eau clarifiée** constitue le **"perméat"**. Les membranes peuvent être céramiques ou organiques, et de quatre types : tubulaires, à fibres creuses, spiralées ou à plaques. Elles sont définies par leur seuil de coupure, exprimé en Dalton (g/mol) sur des molécules-étalon[34]. Selon la taille des pores va de plusieurs milliers de nanomètres à moins d'un nanomètre, on distingue ainsi les membranes de **microfiltration,** d'**ultrafiltration**, de **nanofiltration** et d'**osmose inverse** *(figure 23)*.

En épuration des eaux usées, le couplage du traitement biologique (procédé des boues activées) avec un procédé de séparation par membranes constitue une solution intéressante lorsque des contraintes réglementaires très strictes sont imposées. Dans ce procédé, la clarification est assurée par des membranes. Il n'y a pas de traitement tertiaire à proprement parler, même si les performances sont comparables puisque les bactéries et des molécules peu ou pas biodégradables sont également retenues.

Dans l'usine Seine Morée du SIAAP, les membranes d'ultrafiltration couplées à une boue activée permettent d'assurer l'épuration biologique et de délivrer une eau épurée compatible avec la réouverture de la Morée, rivière dans laquelle sont rejetées les eaux *(objet du zoom de la fiche Seine Morée page 74).*

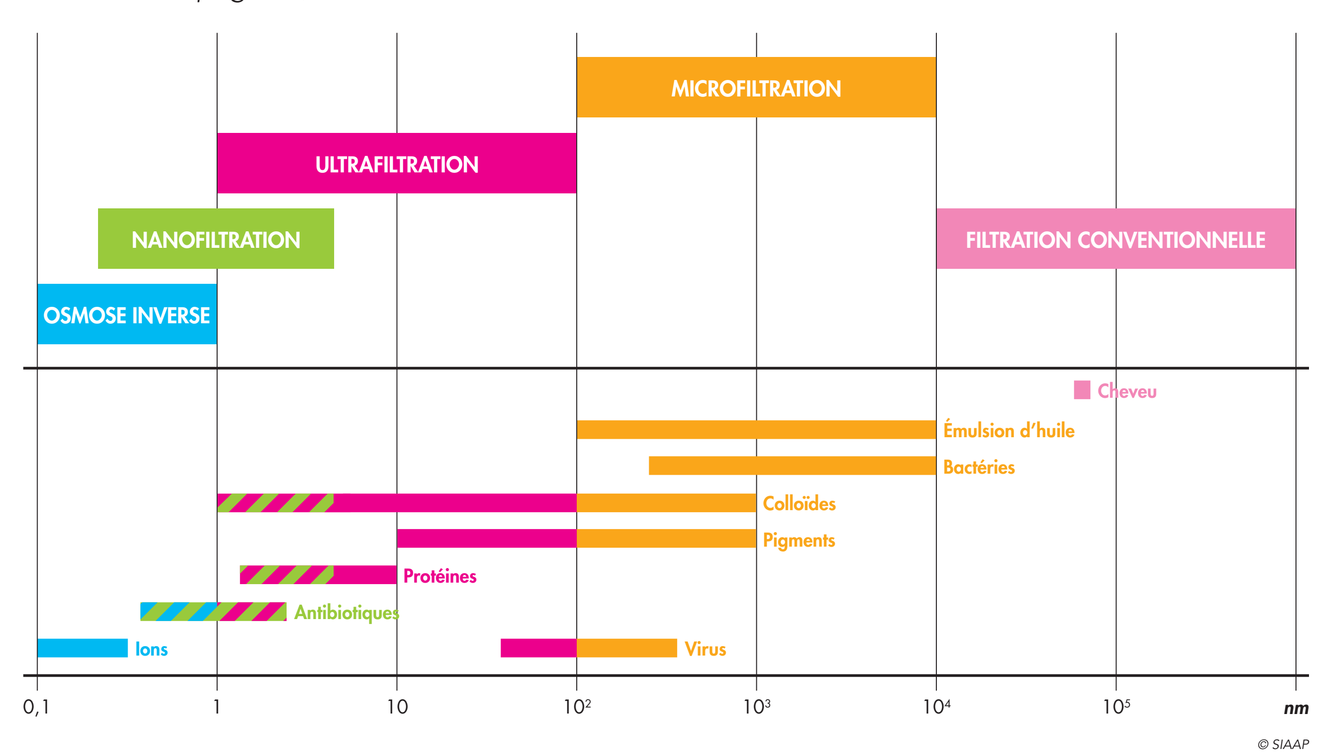


Figure 23 : Domaines de séparation des techniques membranaires à gradient de pression

34/ http://forums.futura-sciences.com/technologies/100028-separation-membranes.html

Les bioréacteurs à membranes

Dans le procédé des boues activées à séparation membranaire, les membranes sont le plus souvent installées dans un bassin séparé du réacteur biologique, ce qui permet une exploitation plus souple qui facilite l'entretien des membranes, leur lavage, etc. C'est ainsi que fonctionnent les bioréacteurs à membranes (figure 24). Ces derniers présentent l'avantage d'un important gain de place mais ils sont coûteux, notamment sur le plan énergétique. La nécessaire protection des membranes, sensibles aux matières en suspension, requiert en amont un prétraitement plus poussé, avec notamment un tamisage de l'ordre de 1 mm.

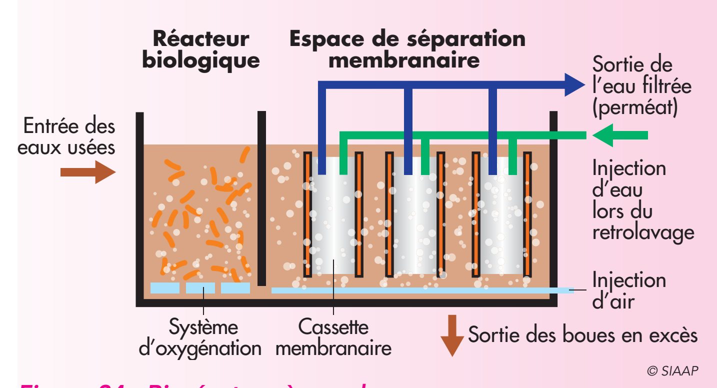


Figure 24 : Bioréacteur à membrane
a. Schéma de fonctionnement

© Degrémont (Ultrafor)
b. Cassette membranaire

Dans le cadre de la refonte de Seine aval (voir fiche Seine aval page 69), la majeure partie de l'eau sera traitée par biofiltration. Toutefois, 200 000 à 250 000 m^3/jour seront traités par boues activées à séparation membranaire. Ce dispositif permettra d'assurer la production d'eau industrielle de grande qualité et de contribuer à l'obtention d'un effluent global répondant à des critères très stricts dans l'optique du respect de la Directive cadre sur l'eau (encadré réglementaire page 11).

4/ MICROPOLLUANTS

Dans les stations conventionnelles de traitement des eaux usées, l'élimination des micropolluants n'est pas imposée par la réglementation, elle n'est donc réalisée que partiellement. Toutefois, dans l'optique de réduire leur apport dans les eaux de surface et leur impact sur la biodiversité aquatique et potentiellement sur la santé humaine, ils peuvent en effet être toxiques à très faible concentration, des essais de traitements avancés sont en cours de développement, notamment en Suisse.



> *Micropolluants dans l'environnement et toxicité*

En 2009-2010, quatre traitements ont ainsi été testés à grande échelle dans une STEU de Lausanne (220 000 EH) pendant plus d'une année.[35] Les essais ont été menés sur une sélection de plus de 50 micropolluants organiques (produits pharmaceutiques, pesticides, substances à effet hormonal, etc.). Les quatre procédés ont permis d'atteindre des abattements moyens compris entre 23 % et 80 %. Les traitements ayant obtenu le niveau d'abattement de 80 % sont donc efficaces pour réduire l'apport de micropolluants dans les eaux de surface.
En fonction de l'évolution de la législation et des contraintes locales, différents procédés pourraient donc être mis en place afin de diminuer l'apport de micropolluants dans les cours d'eau, avec toutefois des répercutions économiques non négligeables.

35/ *Traitement des micropolluants dans les eaux usées.* rapport final sur les essais pilotes à la STEP de Vidy (Lausanne), Office fédéral de l'environnement OFEV (Suisse). Janvier 2011.

IV. Traitement des boues

La **pollution extraite** de l'eau au cours des différentes étapes de traitement n'a pas totalement disparu. Elle est concentrée sous la forme de **boues d'épuration** très fermentescibles qu'il va falloir traiter pour en réduire les nuisances et le volume. À titre d'exemple, la quantité de boues produites quotidiennement par un habitant représente un volume compris entre **1,5 et 10 litres de boues liquides,** soit entre 30 et 150 grammes de **matière sèche.** La quantité produite est corrélée aux techniques de traitement des eaux. Mieux on traite les eaux, plus on produit de boues.

A. CARACTÉRISTIQUES DES BOUES

La composition des boues urbaines dépend des polluants présents dans les eaux brutes qui arrivent sur la station, mais surtout des techniques de traitement utilisées. Selon le procédé de traitement d'où elles sont extraites, on distingue **différents types de boues :**

- **Les boues primaires :** obtenues au niveau de la décantation primaire, elles présentent un taux de matière organique de l'ordre de 50 à 70 % et sont donc extrêmement fermentescibles.

- **Les boues physico-chimiques :** obtenues au niveau des traitements primaires physico-chimiques. Les réactifs chimiques utilisés lors de cette étape se retrouvent dans ces boues sous forme d'hydroxydes métalliques ou de précipités minéraux (sulfates, phosphates, etc.). Elles présentent un taux de matière organique de 40 à 65 %.

- **Les boues biologiques :** obtenues au niveau des traitements secondaires, elles représentent la biomasse en excès constituée lors du traitement biologique. Leur teneur en matières volatiles est proche de 80 %.

Les boues présentent **trois caractéristiques majeures :**
- un **volume** important en raison de leur forte teneur en eau ;
- une très forte aptitude à la **fermentation ;**
- la présence de **micro-organismes** potentiellement pathogènes, donc présentant un risque sanitaire.

Les boues – déchets majoritairement organiques et fermentescibles – doivent être traitées dans des conditions respectueuses de l'environnement. Néanmoins, au vu des caractéristiques intéressantes des boues, elles peuvent faire l'objet d'une **valorisation** :
- **énergétique** : production de biogaz, incinération ;
- **agronomique** : amendement et fertilisation des sols ;
- **matière** : dans la cimenterie, les boues peuvent servir d'apport thermique et matière, elles peuvent être transformées en briques, la réutilisation des cendres est également réalisée, toutefois, la valorisation matière en assainissement reste marginale comparée aux deux autres voies de valorisation précitées.

La **mise en décharge** peut aussi constituer une destination finale.
Le choix entre valorisation et élimination en décharge dépend des caractéristiques des boues, des contraintes liées au site et de l'analyse préalable des débouchés locaux.

B. DEVENIR DES BOUES

Les boues produites par le système d'assainissement, quel que soit le type de traitement adopté pour les eaux usées, doivent trouver une voie de recyclage ou d'élimination qui soit écologiquement et économiquement durable. Grâce à ses six usines d'épuration, le SIAAP a mis en place des multi-filières de traitement qui permettent une valorisation diversifiée des boues. La voie privilégiée est la valorisation agronomique. Lorsque celle-ci n'est pas envisageable, on recherche d'autres voies d'élimination permettant également une valorisation énergie et/ou matière. Pour satisfaire aux exigences de ces solutions, les boues doivent répondre à des critères stricts[36].


Pour aller plus loin : **HISTOIRE**

> *Fosses d'aisance sous l'Ancien Régime, vidanges et voiries*

1/ *INCINÉRATION ET VALORISATION ÉNERGÉTIQUE*

L'incinération est un procédé radical et définitif de destruction ultime des déchets à caractère organique. C'est une réaction d'oxydation à **haute température,** elle suppose donc que deux paramètres soient réunis :

- une **haute température** (entre 850 et 1200 °C selon le four) maintenue dans une chambre pendant un temps suffisamment long pour détruire les molécules organiques ;
- un **apport d'oxygène** suffisant pour que les radicaux formés puissent se combiner et se placer en combustion oxydante.

Selon les conditions de fonctionnement, il est possible de **valoriser l'énergie dégagée par la combustion** des boues *(voir zoom sur la valorisation énergétique par traitement thermique des boues à l'usine Marne aval, page 73)*. Par ailleurs, les **cendres** résultant de ce traitement peuvent faire l'objet d'une **valorisation matière.**

2/ *VALORISATION AGRICOLE*

Contrairement à l'irrigation agricole mise en place au XIXe siècle dans l'ouest de Paris, l'**épandage agricole des boues** est parfaitement encadré par de nombreux **textes réglementaires.** Considérées comme un déchet[37], les boues ne peuvent être épandues que si elles présentent un intérêt pour les sols ou la nutrition des cultures et plantations. De fait, composées de matières organiques, de phosphore, d'azote, de potassium et d'oligo-éléments, les boues traitées peuvent constituer des apports organo-minéraux aidant à la fertilisation des sols cultivés.

Les boues candidates à l'épandage sont donc soumises à des **analyses** poussées ; il s'agit de définir précisément leur **valeur agronomique,** mais aussi leur **toxicité potentielle** (en tenant compte des concentrations maximales en micropolluants admises pour l'épandage) et le **risque microbiologique** auquel expose leur épandage. Plusieurs points sont pris en compte :

- ***contrôle de la valeur agronomique des boues***
  - phosphore, azote, calcium, soufre, matière organique
- ***surveillance des micropolluants***
  - cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc
  - PCB (7), HAP (fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)pyrène)
- ***surveillance de la qualité microbiologique***
  - œufs d'helminthes (vers parasites)
  - virus
  - bactéries (salmonelles).


Pour aller plus loin : **SCIENCES DE LA VIE**

> *Micropolluants (métalliques et chimiques) et toxicité*


Pour aller plus loin : **GÉOGRAPHIE**

> *Micro-organismes présents dans les eaux usées*

36/ ADEME : http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f53.htm
37/ Selon l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles.

Seuls certains sols sont déclarés aptes à recevoir ces boues, et les doses appliquées sont réglementées. **L'accumulation** éventuelle d'éléments toxiques dans le sol et les cultures est **suivie** à long terme. La **traçabilité** est exigée, la responsabilité du producteur de boues restant entière. Le SIAAP se préoccupe depuis longtemps des problèmes de contamination des sols et des végétaux consécutive aux pratiques anciennes d'épandage d'eaux brutes non traitées, comme en témoignent de nombreux travaux confiés à l'INRA. Par ailleurs, les boues mises en épandage ne sont pas les seules sources potentielles de contamination des sols. Actuellement, on s'interroge sur la possibilité d'une contamination par voie aérienne – c'est-à-dire par l'intermédiaire de dépôts atmosphériques – ou par les impuretés contenues dans les engrais minéraux.

La **qualité des boues** s'est beaucoup **améliorée** ces dernières années grâce à la **réglementation**[38], notamment l'obligation faite aux **industriels** d'adopter des technologies propres et de traiter leurs rejets avant qu'ils ne rejoignent le réseau de collecte des eaux usées. Grâce à ces efforts et à la généralisation de l'**essence sans plomb,** la teneur en plomb des boues de Seine aval a été divisée par trois et leur teneur en cadmium l'a été par vingt.

Dans les usines du SIAAP, la valorisation agricole est l'option retenue à Seine aval *(encadré ci-dessous)* et en partie à Seine amont et Seine Morée.

La valorisation agronomique des boues à Seine aval

L'usine Seine aval, dans les Yvelines, est située en dehors de l'agglomération parisienne, à proximité des plaines agricoles de la Beauce et du Vexin. Sa localisation lui offre de nombreux débouchés pour une valorisation agricole des boues, c'est donc la stratégie qui est développée depuis plusieurs décennies.

À Seine aval, le traitement des boues s'effectue au sein de l'Unité de production des boues déshydratées (UPBD). Chaque année, environ 72 000 tonnes de boues traitées (exprimées en matières sèches) sont évacuées de l'usine (figure 25). Cette production subit une augmentation inévitable du fait de l'amélioration constante du niveau de traitement des eaux usées. Ainsi, après la mise en service de l'unité de traitement des pollutions azotées en 2007, on estime à 15 % l'augmentation du volume annuel de boues produites à Seine aval.

*Après avoir subi différents traitements, les boues déshydratées sont stockées pour être **analysées** afin de s'assurer de leur compatibilité avec une **valorisation en agriculture** réalisée dans 13 départements (66 % des boues produites à Seine aval en 2011). Il existe également une autre voie de valorisation, le **compostage**, réalisé sur des plateformes situées dans 18 départements (25 %) (voir cadre technique page 57). Les boues **non-conformes** sont évacuées vers des Installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND, anciennement centres d'enfouissement technique – CET – de type II) au titre de déchets ultimes (9 %).*

La filière de valorisation agricole des boues produites par Seine aval, appelées Fertifond P[39], obéit à une réglementation très stricte qui impose, pour chaque plan d'épandage, l'obtention d'une autorisation par les préfets des départements. Seine aval a obtenu en 2003 la certification AFAQ ISO 9001-2000 pour l'ensemble de son activité (organisation et qualité de service). Pour la filière d'épandage des boues, l'usine est certifiée Qualicert, ce qui garantit la traçabilité et la transparence de la filière ainsi que son intégration dans des pratiques de fertilisation raisonnée[40].



Figure 25 : Stock de boue destiné à une valorisation agronomique *(Seine aval)*

38/ Directive européenne de 1986 relative à la protection de l'environnement, et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture.
39/ http://fertifondp.siaap.fr
40/ http://www.seineavaldemain.siaap.fr/seine-aval-aujourdhui/traitement-des-boues

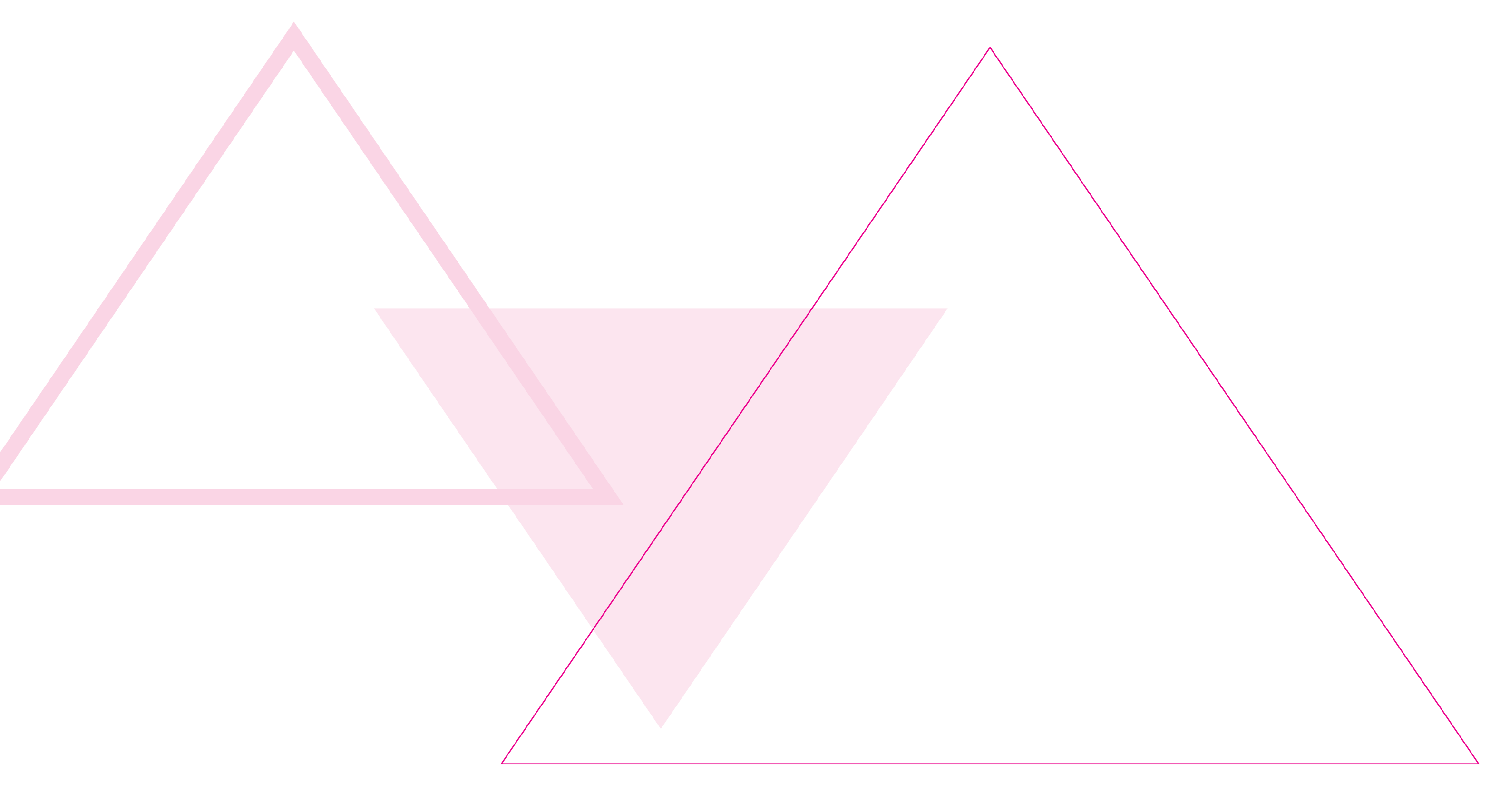
3/ *MISE EN DÉCHARGE*

Lorsque, pour diverses raisons, ni la valorisation agricole ni l'incinération ne peuvent être assurées, les exploitants des stations d'épuration ont depuis longtemps recours à la mise en décharge.

Les ISDND acceptent les ordures ménagères résiduelles. Toutefois, l'évolution des réglementations française et européenne va dans le sens d'une diminution du dépôt des déchets dans ces installations de stockage. Depuis 1999, l'Union européenne[41] met en place des exigences techniques strictes concernant les décharges, de manière à prévenir et à réduire autant que possible les effets négatifs sur l'environnement, et sur les eaux de surface, les eaux souterraines, les sols, l'air, et sur la santé humaine[42]. Au niveau européen[43/44], la **réduction progressive de la mise en décharge** des déchets municipaux biodégradables (dont les boues d'épuration) est planifiée jusqu'en 2015. En France, la politique moderne de gestion des déchets découle d'une loi de 1992[45] qui fixait la fin de la mise en décharge comme mode de traitement courant des déchets ménagers à l'année 2002, en réservant les mises en décharge aux seuls **déchets ultimes.** Est ultime un déchet, résultant ou non du traitement d'un autre déchet, qui n'est plus en mesure d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux (articles L 541-1 et L 541-24 du Code de l'environnement)[46].

On constate donc que la mise en décharge ne peut plus être considérée à terme comme une voie d'élimination des boues d'épuration. La valorisation des boues est donc une nécessité absolue et s'appuie sur une filière de traitement particulièrement complexe et pointue qui est en cours de développement.

Quel que soit le mode de valorisation ou d'élimination envisagé, les boues doivent d'abord subir une série de traitements.



41/ Directive de 1999 concernant la mise en décharge des déchets.
42/ http://europa.eu : Synthèses de la législation de l'Union européenne.
43/ Directives du 5 avril 2006 et du 19 novembre 2008 relatives aux déchets.
44/ Directive européenne du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets.
45/ Loi du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement.
46/ Guide régional de la gestion des déchets de la région PACA : http://www.guide-dechets-paca.com

C. PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES BOUES

Il existe des traitements préalables qui ont deux objectifs :
- **la réduction du volume des déchets** (élimination de l'eau) ;
- **la réduction de leur pouvoir fermentescible** (élimination des micro-organismes et des odeurs).

Les traitements appliqués aux boues s'effectuent en plusieurs étapes ; ces dernières sont modulables selon la filière retenue, mais les principes généraux demeurent les mêmes. Les différentes techniques et équipements qui leur sont associés sont indiqués en **rose** et font l'objet d'encadrés sur les pages suivantes.

1/ DIGESTION

La **digestion anaérobie** des boues (aussi appelée **"méthanisation"**) est un processus biologique naturel de dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène. L'énergie et les matériaux libérés servent, pour une petite partie, à la synthèse de nouvelles bactéries nécessaires au maintien du processus. La majeure partie de la matière organique fermentescible est convertie en **méthane** et en **dioxyde de carbone.** C'est le **biogaz** réutilisé pour produire de l'énergie. La digestion anaérobie n'est pas une étape systématique, elle répond à plusieurs objectifs :
- réduire le caractère fermentescible en éliminant au maximum (environ 50 %) de la partie volatile des boues ;
- obtenir une boue relativement stabilisée ;
- récupérer de l'énergie en créant du biogaz (valorisation énergétique) ;
- rendre les boues plus aptes à la déshydratation.

2/ ÉPAISSISSEMENT

L'épaississement des boues est une première phase de **réduction du volume,** il facilite les étapes suivantes. Ce procédé peut s'effectuer dans différents ouvrages, **épaississeur**, **flottateur** ou **centrifugeuse**, selon la technique retenue.

3/ CONDITIONNEMENT

Le conditionnement est un préalable indispensable à la **déshydratation** et permet aussi la **réduction des nuisances olfactives et des germes pathogènes.** Le procédé peut être **thermique** ou **chimique**.

4/ DÉSHYDRATATION

Après un épaississement, il convient de déshydrater la boue afin d'en **réduire le volume**. On cherche donc à **retirer le maximum d'eau en concentrant les matières solides**. En effet, les boues produites dans les stations d'épuration sont liquides et présentent, même après épaississement, une teneur en eau supérieure à 95 %. Différents équipements permettent de déshydrater les boues : le **filtre-presse**, la **centrifugeuse**, puis éventuellement, le **sécheur**.

5/ STABILISATION

En l'absence de digestion, les boues très chargées en matières volatiles ont tendance à entrer en fermentation et donc à générer des nuisances olfactives. Il est donc nécessaire de les stabiliser afin de **réduire leur odeur** et de les hygiéniser, c'est-à-dire de **détruire les agents pathogènes** présents. Précisons toutefois que, dans le cas d'une valorisation énergétique par incinération, cette étape de stabilisation n'est pas mise en œuvre. Plusieurs techniques permettent de stabiliser des boues, le **chaulage** et le **compostage** seront ici présentés.

6/ INCINÉRATION

L'incinération des boues préalablement déshydratées est un procédé radical et rapide qui permet de minéraliser des boues sous forme de **cendres**. Parfois, l'incinération entraîne également un dégagement de **chaleur** (énergie thermique valorisable) et un dégagement gazeux (**fumées** qu'il faut traiter avant leur rejet dans l'atmosphère). Trois usines du SIAAP utilisent des **fours à lit de sable fluidisé** pour incinérer leurs boues *(voir fiche Seine centre page 71 et fiche Marne aval page 73).*

Digestion anaérobie

*Le processus de la digestion anaérobie est composé de **deux phases :***

- *la phase acide, dont le principal objectif est de convertir la matière organique en acides gras volatils puis en acétate assimilable par les bactéries méthanogènes. Pendant cette phase, la quantité de matière organique ne change pas.*
- *la phase suivante consiste en une conversion des acides gras volatils en CH_4, CO_2 et autres gaz par des bactéries strictement anaérobies.*

Ces deux phases sont en équilibre dynamique : les acides gras volatils sont convertis en CH_4 dans la même proportion qu'ils sont produits à partir de la matière organique complexe. La quantité d'acides gras volatils dans les digesteurs en bon état de fonctionnement (figure 26) est donc faible. Un déséquilibre dû à un excès d'acide diminue le pH avec un effet toxique et inhibiteur sur les méthanogènes.

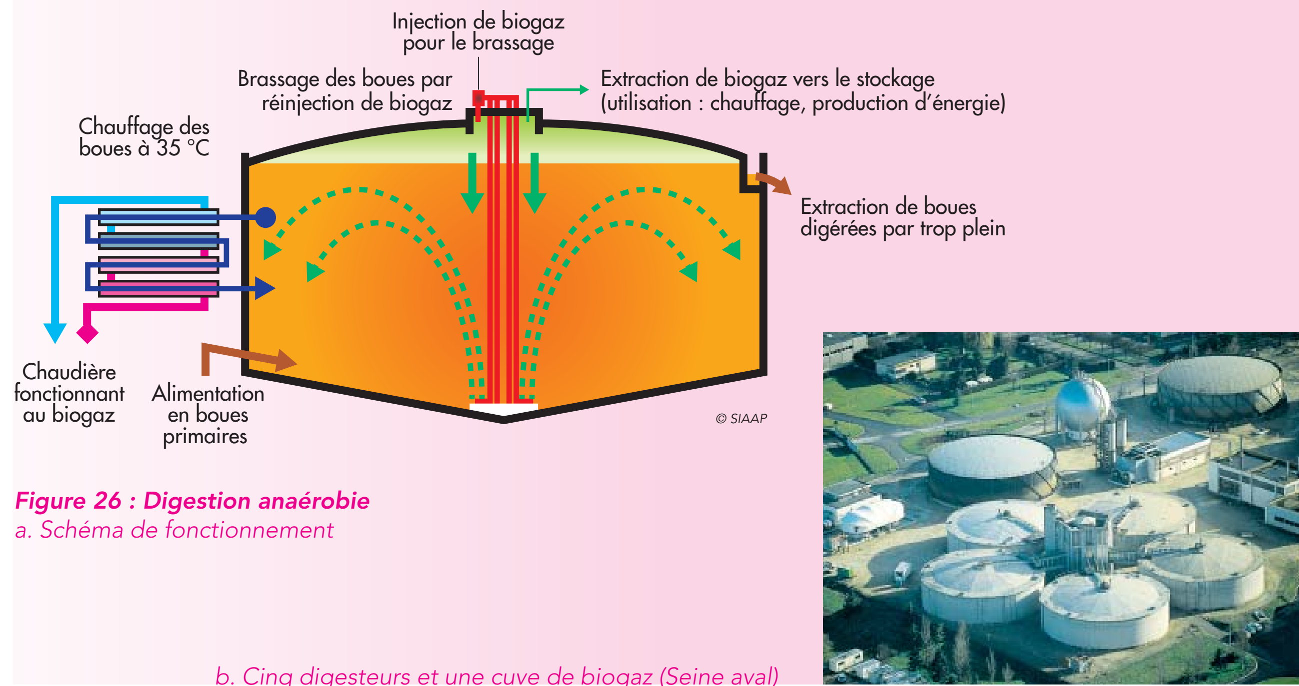


Figure 26 : Digestion anaérobie
a. Schéma de fonctionnement

b. Cinq digesteurs et une cuve de biogaz (Seine aval)

© SIAAP

Épaississement statique

*Sous l'action de la pesanteur, l'épaississement permet de **concentrer les boues** de 2 à 8 fois en les amenant de quelques grammes par litre à quelques dizaines de grammes par litre (concentration comprise entre 15 et 100 g/l). L'épaississement s'effectue donc par décantation dans une cuve à fond conique. La boue épaissie est évacuée par le bas (figure 27).*

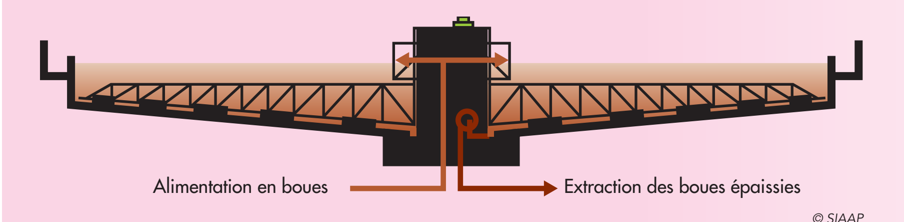




Figure 27 : Épaississement statique gravitaire
a. Schéma de fonctionnement

b. Épaississeur à l'air libre parsemé de végétation (Seine aval)

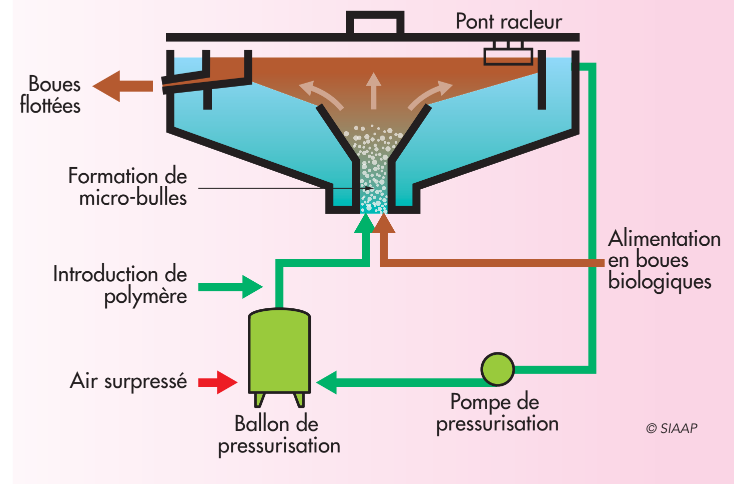
© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon

Épaississement par flottation

*Cette technique s'applique principalement aux **boues biologiques** d'une concentration comprise entre 2 et 8 g/l et peut également être utilisée pour épaissir certaines boues dites "tertiaires". La flottation donne de bons résultats avec des particules de gros diamètre et de faible densité.*

*Le principe consiste à **dissoudre de l'air sous forte pression** soit dans la boue entrante (flottation directe), soit dans l'eau de souverse du flottateur (flottation indirecte), à l'intérieur d'un réservoir sous pression. Le mélange est ensuite introduit et détendu à pression atmosphérique dans la cuve de flottation. La détente et de fortes turbulences provoquent la formation d'un nuage de fines bulles (environ 40 à 100 µm). Ces dernières entraînent alors les MES à la surface du flottateur, où elles sont récupérées par raclage. L'eau de souverse (clarifiée) est quant à elle aspirée au niveau de la partie intermédiaire de la cuve (figure 28).*

Cette technologie nécessite un conditionnement chimique préalable pour former les flocs sur lesquels les bulles d'air viennent se coller.





© SIAAP

Figure 28 : Flottation
a. Schéma de fonctionnement

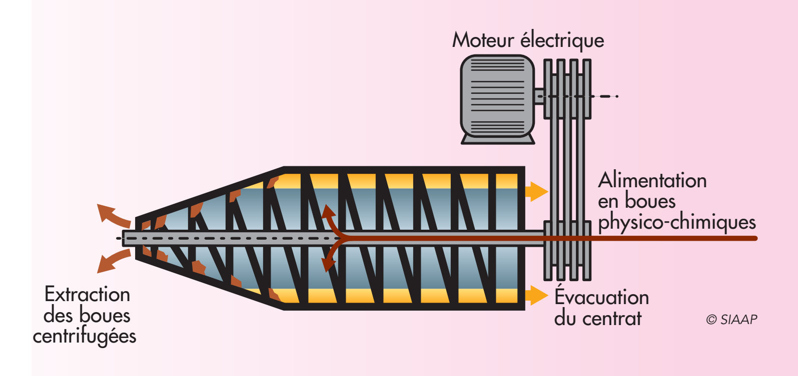
b. Flottateurs (Seine centre)

Épaississement par centrifugation

Cette technique s'applique de préférence pour épaissir des boues issues d'une décantation physico-chimique. Elle est également utilisée quand l'espace disponible est relativement restreint, ou lorsque l'étape d'épaississement ne doit fonctionner que quelques heures par jour.

*Une centrifugeuse, comme le sous-entend son nom, utilise la force centrifuge pour accélérer la **sédimentation des particules solides** de la boue préalablement conditionnée.*

La boue à traiter est introduite dans un rotor constitué d'un bol et d'une vis convoyeuse ; le bol et la vis tournent l'un et l'autre à très haute vitesse, mais pas tout à fait à la même. La vis évacue la boue épaissie vers l'extrémité conique du bol, tandis que le centrat (liquide) est évacué à l'autre extrémité (figure 29).



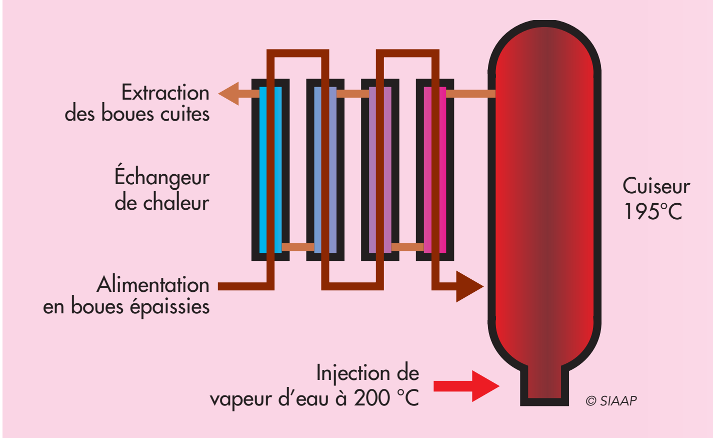
© SIAAP / Bar Floréal - A. BÉRAUD

Figure 29 : Centrifugation
a. Schéma de fonctionnement
b. Centrifugeuse (Seine centre)

Conditionnement par traitement thermique

*Lors du conditionnement par traitement thermique, les boues sont "cuites" à **haute température** (195 °C) et sous **haute pression** (20 bars) pendant quarante-cinq minutes dans le but de couper les colloïdes et de dissoudre les particules qui peuvent gêner la déshydratation. Un échangeur thermique permet de recycler environ 75 % de l'énergie, les boues cuites préchauffant les boues à traiter. Le conditionnement thermique améliore l'aptitude des boues à la filtration, une siccité de 40 à 55 % pouvant être obtenue après déshydratation, et cela sans avoir à ajouter de réactif. Le poids de matière sèche diminue, mais une partie non négligeable de pollution est remise en circulation par hydrolyse thermique.*

Les boues sont ensuite traitées pour éliminer les gaz odorants qu'elles contiennent (stripping, dégazage par insufflation d'air) et décantées afin de diminuer le volume à déshydrater. Les gaz provenant du traitement sont désodorisés par incinération.





© Dominique Soulé

Figure 30 : Conditionnement thermique
a. Schéma de fonctionnement
b. Atelier de cuisson : réacteurs de cuisson et échangeur de chaleur (Seine aval)

Conditionnement par traitement chimique

*Afin d'améliorer les étapes de l'épaississement ou de la déshydratation, la boue peut être conditionnée de façon chimique par l'**ajout de réactifs**. Ces réactifs sont de deux types :*

- ***minéral** avec le chlorure ferrique et la chaux. Le chlorure ferrique est généralement associé à la chaux pour améliorer la filtrabilité de la boue. Il peut aussi être associé à des polymères anioniques ;*
- ***organique** avec les polymères. Il existe plusieurs centaines de polymères qui se présentent sous la forme de poudres ou de liquides. Les polymères les plus souvent employés sont de type cationique. Ils sont ajoutés en faible quantité.*

Déshydratation par filtration sous presse

*Des **plateaux verticaux,** évidés et recouverts de toiles filtrantes, sont disposés en batterie et maintenus les uns contre les autres par des vérins hydrauliques (figures 31a-b). L'espace ainsi aménagé entre chaque plateau est alimenté de façon continue en boue conditionnée par l'intermédiaire d'une pompe haute pression. Une fois le filtre rempli, l'alimentation en boue à déshydrater et le système de vérins hydrauliques provoquent la montée en pression à l'intérieur du filtre (15 bars). L'eau est évacuée à travers une toile filtrante (figure 31c).*

En fin de cycle, soit après quatre heures, la pression maximale est atteinte, et l'alimentation est arrêtée. Après dépressurisation, les plateaux sont séparés afin d'évacuer successivement les "gâteaux" formés. On appelle cette opération "phase de débâtissage". Les boues ainsi traitées contiennent environ de 30 à 50 % de matières sèches selon le conditionnement.

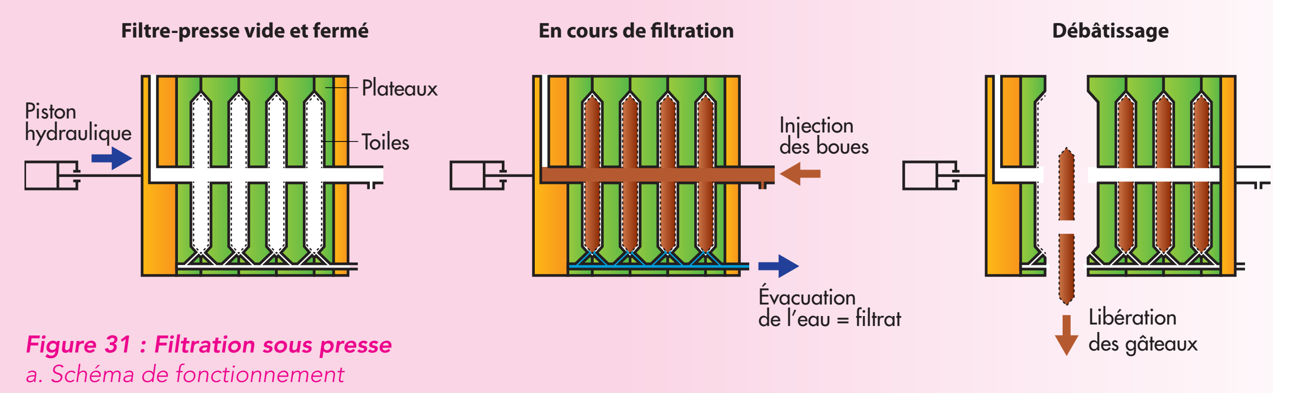


Figure 31 : Filtration sous presse
a. Schéma de fonctionnement





© SIAAP

b. Filtre-presse (Seine aval)

© SIAAP
c. Toile filtrante

Déshydratation par centrifugation

La centrifugation (figure 29 et cadre page 54) couplée à l'injection de polymères permet de combiner l'épaississement et la déshydratation dans une seule et même machine, et cela pour tout type de boue. La centrifugation consiste à appliquer une force centrifuge sur les particules d'une suspension boueuse pour provoquer leur décantation accélérée, aboutissant à l'obtention de deux phases :

- ***phase solide** ou **sédiment** (culot de centrifugation) ;*
- ***phase liquide** ou **centrat** (liquide surnageant).*

La centrifugation permet un taux de capture supérieur à 95 %, cela grâce à la floculation préalable de la boue. La siccité finale est de 20 à 30 % en fonction des boues.

Séchage

Le séchage est une opération physique qui permet l'élimination d'un liquide par évaporation ou vaporisation. Il s'applique sur des boues déjà déshydratées à 20 ou 30 % de matière sèche (figures 32 a-b).

*Le séchage peut être **convectif** – les boues sont mises en contact avec des gaz de combustion – ou **conductif** – l'apport calorifique se fait uniquement par surfaces d'échange.*

Le séchage thermique des boues permet de :

- ***réduire la quantité d'eau** contenue dans les boues. La siccité finale peut aller jusqu'à plus de 90 %, ce qui provoque une diminution de 3,5 à 4,5 fois le poids des boues à évacuer ;*
- *réaliser une **hygiénisation** et une **stabilisation** de la boue. Cela permet un stockage sur de longues périodes sans production de mauvaises odeurs ;*
- ***changer la texture** de la boue. Celle-ci devient solide et peut être granulée, ce qui facilite sa manipulation et améliore son "image" (figure 32 c).*

*Les boues ainsi traitées peuvent être utilisées aussi bien en valorisation agricole qu'en incinération. Il existe **deux seuils de séchage** entre lesquels on choisit en fonction du devenir des boues :*

- ***le séchage poussé** assure une siccité finale minimale de 60 % ;*
- ***le séchage total** assure une siccité supérieure à 90 %.*

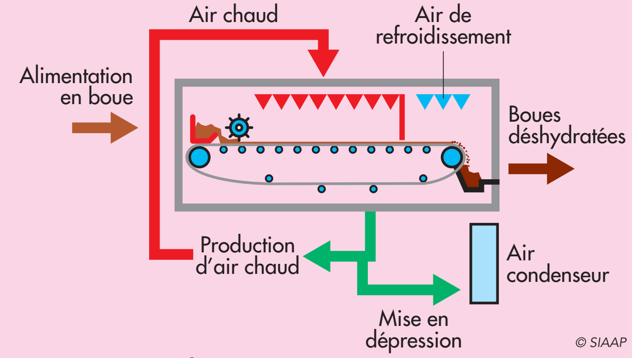




Figure 32 : Séchage
a. Schéma de fonctionnement



© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon
b. Sécheur thermique (Seine Grésillons)



c. Granulés obtenus par séchage

© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon

La nature des boues séchées leur confère une aptitude à l'autoéchauffement qui s'accompagne d'un risque de combustion. Leur stockage doit faire l'objet d'aménagements particuliers afin de réduire ces risques.

Stabilisation par chaulage

Le chaulage est une technique de traitement à la chaux destinée à corriger l'acidité d'un produit, d'un sol, et dans le cas présent, des boues d'épuration. La chaux est une matière généralement poudreuse et blanche, obtenue par décomposition thermique du calcaire.

Le chaulage remplit deux fonctions principales :
- ***la stabilisation biologique :** l'élévation du pH au-delà de 12 détruit ou inhibe la biomasse responsable de la fermentation ;*
- ***l'hygiénisation de la boue :** l'augmentation du pH s'accompagne d'une élévation momentanée de la température lors d'un traitement à la chaux vive.*

*Il permet aussi d'**améliorer la siccité et la texture** de la boue :*
- *augmentation de la siccité par effet conjoint du mélange de la boue avec un produit sec ; en cas d'utilisation de chaux vive, il y a évaporation de l'eau ;*
- *amélioration de la tenue en tas, notamment en cas de stockage avant épandage ;*
- *apport d'un amendement calcique pour les terres acides.*

Stabilisation par compostage

*Le compostage consiste à aérer un **mélange de boues fraîches déshydratées et de coproduits** (ordures ménagères triées, papiers, cartons, fumiers, sciures, déchets verts, etc.) puis à laisser évoluer l'ensemble pendant plusieurs semaines.*
Le compostage des boues s'appuie sur le principe du compostage des fumiers agricoles, mais l'opération s'effectue en milieu aérobie, ce qui permet d'obtenir un produit sans nuisances olfactives.

*Le **compostage** comprend plusieurs étapes :*
- ***le mélange des boues avec le coproduit ;** le rôle de ce dernier est d'augmenter le degré de vide dans le milieu, ce qui favorise une bonne aération.*
- ***la fermentation bactérienne** qui est elle-même décomposée en quatre temps :*
  - *la phase psychrophile : température inférieure à 20 °C*
  - *la phase mésophile : montée en température de 20 à 40 °C*
  - *la phase thermophile : température de 40 à 70 °C, ce qui aboutit à une forte dégradation des matières volatiles, une forte évaporation et une hygiénisation ;*
  - *la phase de refroidissement : la biomasse s'autostérilisant, la température diminue.*
- ***le criblage** avec l'affinage du produit final et le recyclage des refus de crible.*
- ***la maturation et le stockage** avec la fin de la dégradation des matières volatiles pendant le stockage pour donner au compost sa qualité agronomique finale. La technique la plus fréquente consiste en une fermentation lente en andains (tas). L'aération est assurée par un simple retournement. C'est la technique la plus ancienne. La qualité du compost est directement liée à l'habilité de l'opérateur et à la fréquence des retournements.*

Les techniques plus modernes utilisent des tunnels de compostage ventilés.

Le SIAAP ne met pas en œuvre cette technique sur ses sites, même si des boues de ses usines sont compostées sur des plateformes extérieures.

47/ Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risque infectieux ; modifié par l'arrêté du 3 octobre 2012.

Incinération par four à lit de sable fluidisé

Il existe différents types de fours pour incinérer les boues d'épuration, tels le four rotatif ou le four à soles, mais celui qui est le plus couramment utilisé est le four à lit de sable fluidisé. C'est le modèle présent dans plusieurs usines du SIAAP (Seine amont, Seine centre et Marne aval). Il permet une ***combustion totale de la boue*** *à une température de l'ordre de* ***850 °C****, avec un temps de séjour de* ***quelques secondes*** *seulement (figure 33). Le four à lit fluidisé présente de multiples avantages, au nombre desquels :*

- *facilité d'exploitation ;*
- *efficacité de la combustion ;*
- *compacité ;*
- *absence de pièces mécaniques.*

Les boues déshydratées, du fait de leur nature pâteuse, sont parmi les déchets les plus difficiles à brûler complètement. Il est donc souhaitable de les maintenir en mouvement jusqu'à complète combustion. C'est une des raisons qui font que les fours à lit fluidisé paraissent les plus adaptés à l'incinération des boues. La boue est injectée sur un lit de sable surchauffé qui fait exploser les mottes. L'inconvénient majeur de ces fours est la présence de ***cendres*** *qui passent entièrement dans les fumées. On doit donc prévoir un* ***traitement des fumées*** *avec récupération des cendres (**voir zoom sur le traitement des fumées à Seine centre page 71**). Il existe une législation sur les rejets de fumées liés à l'incinération des boues d'épuration[47].*

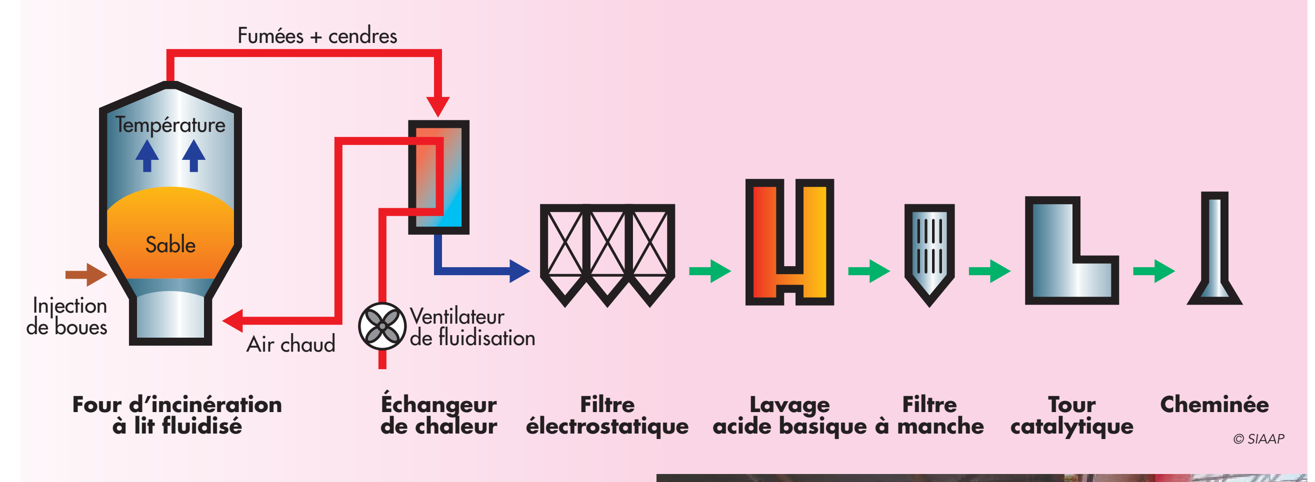


Figure 33 : Incinération
a. Schéma de fonctionnement



b. Four à lit de sable fluidisé (Seine centre)



V. Traitement des odeurs

A. CARACTÉRISTIQUES DES ODEURS EN STATION D'ÉPURATION

L'odorat est le sens qui permet de percevoir les odeurs. **Une odeur** peut se définir comme "l'impression particulière que certaines émanations de l'environnement physique et biologique produisent sur l'appareil olfactif". Ces émanations sont **des molécules volatiles** qui ont la propriété d'interagir avec le système nerveux pour y produire une sensation : l'odeur. Ce qui est perçu comme une sensation homogène est bien souvent le résultat de l'activation d'un grand nombre de récepteurs par des molécules très diverses ; le sujet n'a pas conscience de cette complexité chimique.

L'**olfaction** est une fonction physiologique qui permet l'analyse des molécules chimiques volatiles. Chez les mammifères, l'organe récepteur de l'olfaction est la muqueuse olfactive située dans la région dorsale et postérieure des fosses nasales ; elle est composée de neurones olfactifs. La **perception** d'une odeur résulte d'un stimulus très rapide, presque instantané, qui comporte plusieurs informations, parmi lesquelles l'intensité et la qualité de l'odeur.

La capacité olfactive est plus forte le matin, et la réceptivité aux odeurs varie d'un individu à l'autre. Cependant, il est notoire que les femmes ont un meilleur odorat que les hommes et que les non fumeurs sont plus sensibles que les fumeurs. À partir de 60 ans s'amorce une baisse de la sensation, de la discrimination et de l'identification des odeurs.

L'odorat humain, bien que moins sensible que celui d'autres mammifères, est une source d'information sur les substances chimiques de l'environnement. Le **nez humain** est capable de reconnaître jusqu'à **4 000 odeurs** à des concentrations très faibles en molécules odorantes. Les **techniques analytiques** ne parviennent pas toujours à atteindre un tel seuil de détection.

Au quotidien, les nuisances olfactives sont un élément majeur de désagrément. Facilement détectables, elles sont le principal motif de plaintes des populations riveraines des stations d'épuration. Afin de préserver le cadre de vie des habitants des communes situées à proximité de ses usines, le SIAAP mène des actions analytiques et correctrices depuis plus de vingt ans.



> *Sypros, un logiciel de prévision des odeurs*

Au sein des contaminants de l'air, les odeurs sont les plus difficiles à gérer du fait de la subjectivité inhérente à la mesure et à la définition de ce qui constituerait un seuil olfactif acceptable. Les arrêtés des stations d'épuration peuvent imposer des valeurs limites de rejet dans l'atmosphère pour certains composés odorants (avec des valeurs seuils à ne pas dépasser durant 95 % du temps et des valeurs rédhibitoires à ne jamais dépasser).

Les contaminants de l'air possédant une odeur désagréable sont bien plus souvent gênants que toxiques ou nocifs. Les contaminants odorants qui ont un effet nocif sur la santé ou qui ont des conséquences nuisibles autres qu'une simple gêne sont gérés selon les critères relatifs à la qualité de l'air ambiant. La concentration maximale acceptable de certains contaminants spécifiques de l'environnement est définie réglementairement.

Près de 80 % des gaz nauséabonds qui peuvent être produits par les stations d'épuration sont des produits soufrés (H_2S, mercaptans), le reste est réparti entre les composés azotés (NH_3 et composées organiques azotés), les acides organiques, les cétones et les aldéhydes. C'est l'action des **bactéries anaérobies** qui conduit à la formation de gaz associés au développement de mauvaises odeurs *(figure 34)*.

- ***Le dihydrogène sulfuré***

Le dihydrogène sulfuré (H_2S) est un gaz toxique, incolore et malodorant. Son seuil de détection par l'odorat est de 0,003 parties par million (ppm). Les valeurs moyennes d'exposition ne doivent pas dépasser 5 ppm en milieu industriel, et la concentration maximale autorisée pour une exposition est de 10 ppm pendant dix minutes. Il paralyse l'odorat à 100 ppm et agit comme poison mortel.

- ***Le méthyl mercaptan***

À température ambiante, le méthyl mercaptan (CH_3SH) est comme un gaz incolore, colorant, inflammable et toxique. Il est quatre fois plus toxique que l'H_2S, mais heureusement beaucoup moins fréquent ; à forte concentration, il attaque le système nerveux.

- ***Les composés azotés***

Les composés azotés, principalement l'ammoniac (NH_3) et les amines, peuvent aussi être à l'origine des nuisances olfactives, essentiellement au niveau de la station d'épuration et plus rarement au niveau du réseau.

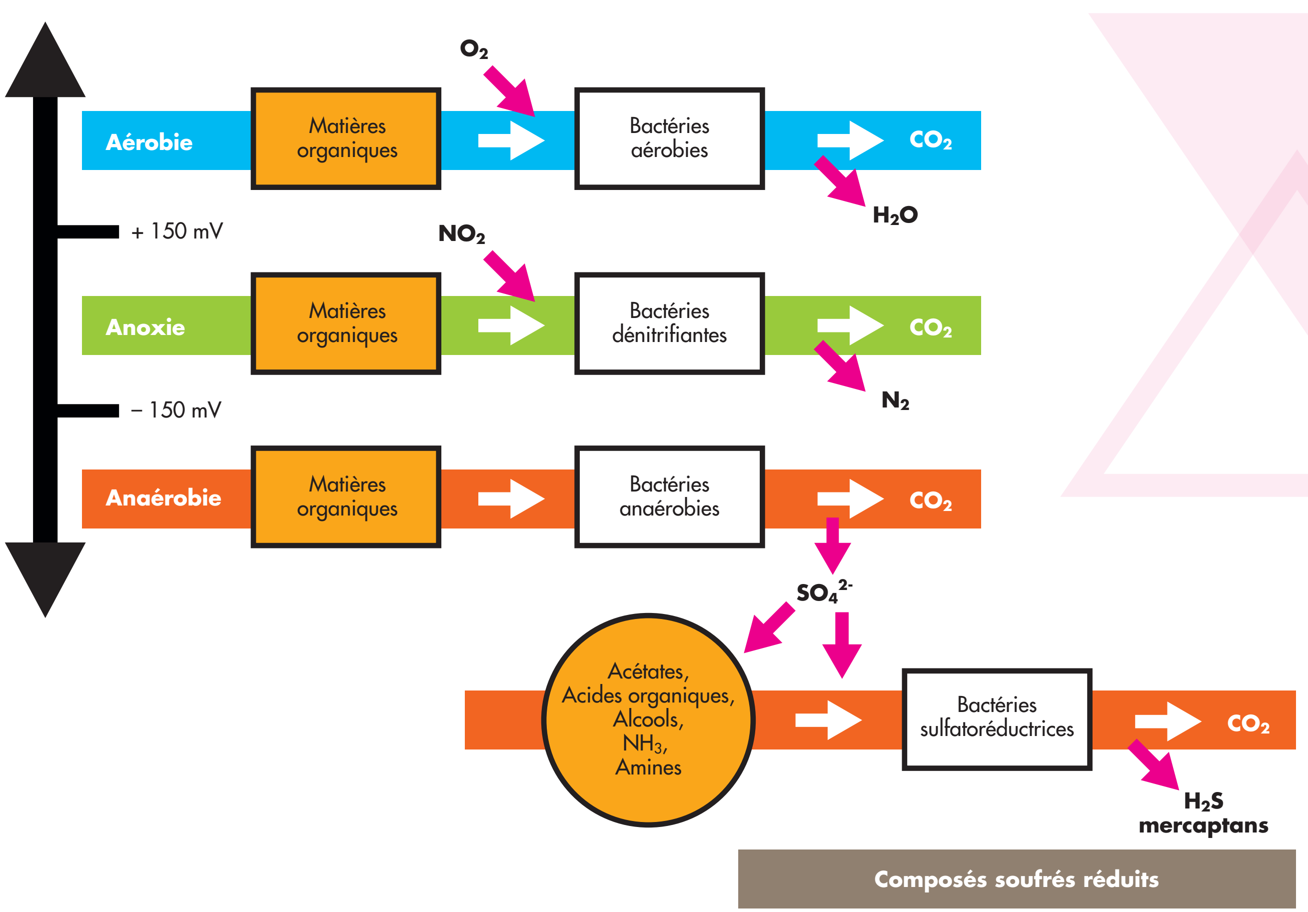


Figure 34 : Réactions entraînant la formation de gaz précurseurs d'odeurs

B. PROCÉDÉS DE DÉSODORISATION

Il existe quatre sortes de désodorisation de natures différentes – chimique, physico-chimique, biologique et thermique – et on utilise l'une ou l'autre selon les débits à traiter et la nature des composés à éliminer.

1/ DÉSODORISATION CHIMIQUE

L'air vicié passe par une série de **lavages** visant à éliminer plusieurs produits polluants – l'ammoniac, le dihydrogène sulfuré et les mercaptans. Ces lavages sont en fait des réactions chimiques qui nécessitent un transfert gaz / liquide. Ils permettent la transformation des produits odorants en produits non odorants dissous. Ils sont effectués dans des tours conçues de sorte qu'il y ait une surface de contact importante entre le produit de lavage et l'air vicié. Chaque lavage se fait dans une tour *(figure 35)*.

- ***Première tour : le lavage acide*** *(pH = 3)*
  Le réactif utilisé est l'acide sulfurique (H_2SO_4), qui permet de transformer les composés azotés (amines, ammoniac). Ainsi, l'ammoniac (NH_3) est transformé en sel d'ammonium (NH_4^+).

- ***Deuxième tour : l'oxydation*** *(pH = 8)*
  Le réactif utilisé est l'eau de Javel, qui permet la transformation du dihydrogène sulfuré (H_2S) en sel dissous. Le chlore se trouve donc sous la forme ClO^-. Puis, par une série d'oxydations intermédiaires, l'H_2S est oxydé en sulfates (SO_4^{2-}).

- ***Troisième tour : le lavage basique*** *(pH = 11)*
  Le réactif est la soude (NaOH), qui permet de piéger des acides gras volatils, les méthyls, les mercaptans et l'H_2S restant de la deuxième tour.

- ***Quatrième tour : le piégeage du chlore gazeux*** *pouvant s'échapper*
  Le réactif utilisé est le thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$). Cette dernière tour est facultative.

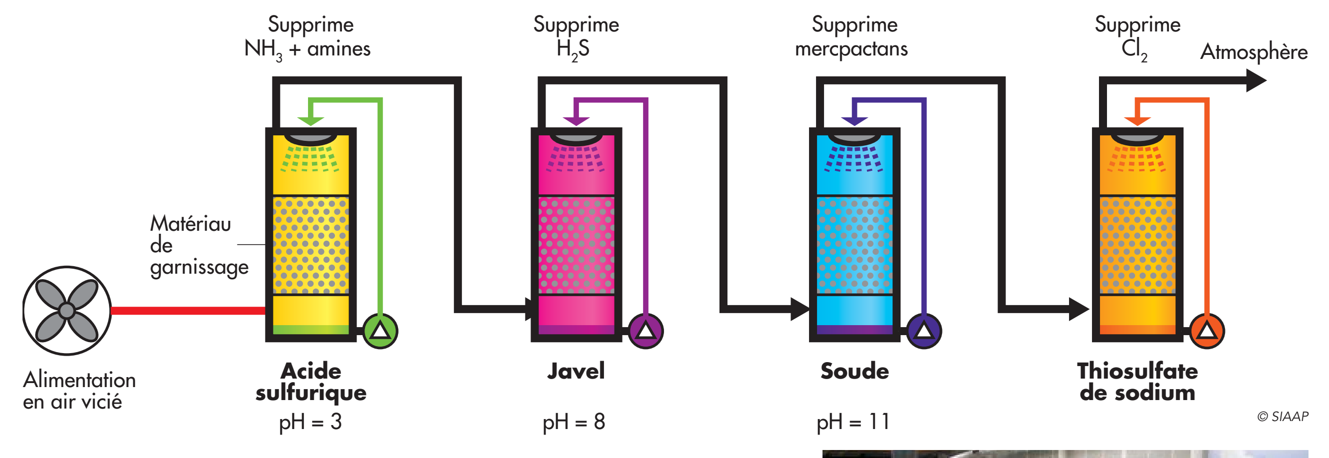


Figure 35 : Désodorisation chimique
a. Schéma de fonctionnement



b. Tours de désodorisation chimique (Seine aval)

2/ DÉSODORISATION PHYSICO-CHIMIQUE

La désodorisation physico-chimique est de deux types : un procédé réversible appelé "adsorption" et un procédé combinant l'adsorption et des réactions chimiques irréversibles appelé "chimisorption".

- **L'adsorption :** procédé par lequel une substance est attirée et retenue à la surface d'une autre. La capacité d'élimination d'un adsorbant a un rapport direct avec sa surface totale qui s'étend jusqu'à l'intérieur du solide. La vitesse d'adsorption est inversement proportionnelle à la taille du produit filtrant.

- **La chimisorption :** procédé en deux phases. D'abord les adsorbés sont physiquement retenus à l'intérieur de l'adsorbant. Ensuite ils réagissent chimiquement, il s'agit d'une réaction d'oxydation instantanée et irréversible qui dégrade l'H_2S en SO_4^{2-}.

3/ DÉSODORISATION BIOLOGIQUE

L'air vicié contenant les produits odorants traverse un **matelas filtrant** (type biofiltre) servant de **support aux populations bactériennes.** Ce matelas est composé de matières organiques ou minérales prélevées dans le milieu naturel (tourbe, coquillages, etc.). Le lit doit être maintenu humide afin de solubiliser les composés à éliminer et, donc favoriser leur dégradation par les bactéries *(figure 36)*. Il faut éviter que le lit ne se tasse : cela augmente les pertes de charge et empêche l'effluent de circuler à travers.

Les bactéries hétérotrophes sulfo-oxydantes nécessitent un apport de carbone, de phosphore et d'azote ; ces derniers sont apportés par arrosage d'une solution de sulfate d'ammonium et de sucre. Les bactéries oxydent donc les composés soufrés organiques ou inorganiques en sulfates (SO_4^{2-}) et sulfites (SO_2), produits inorganiques non odorants.

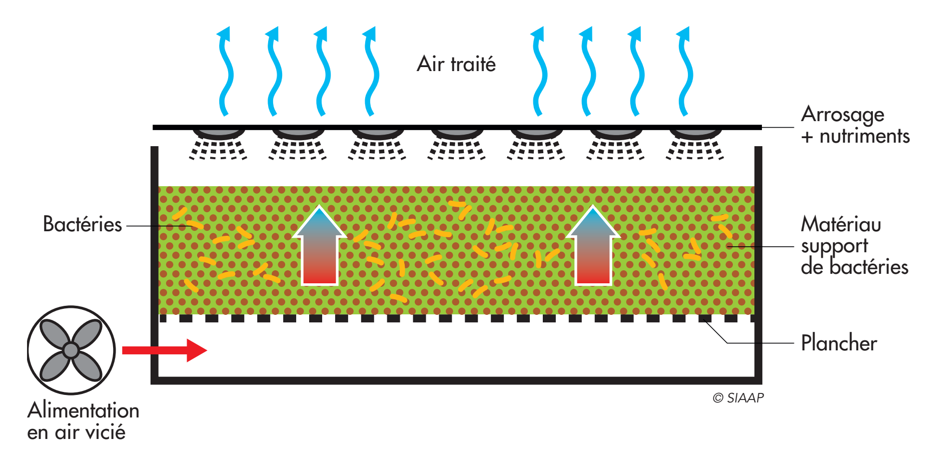




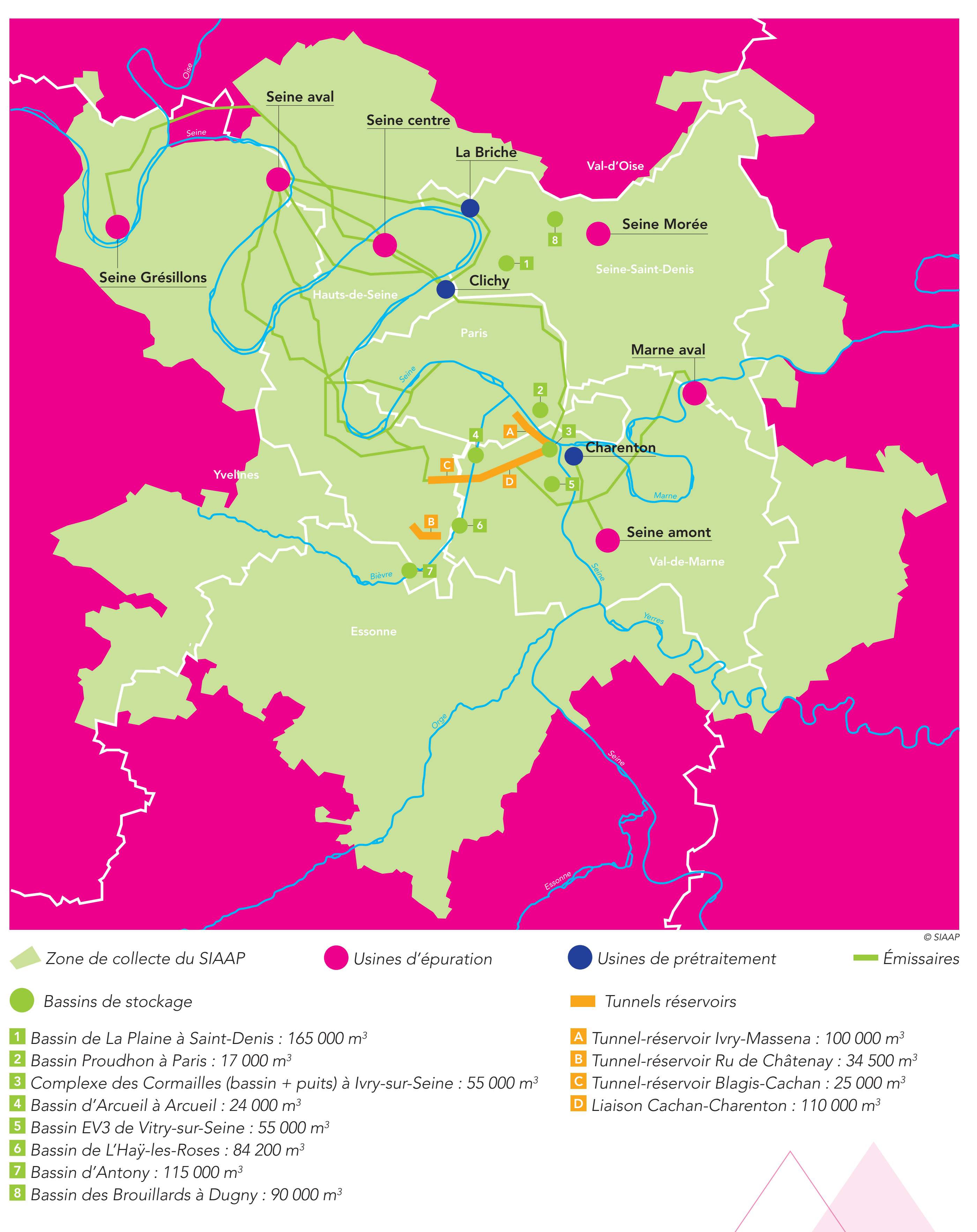
Figure 36 : Désodorisation biologique
a. Schéma de fonctionnement

b. Système d'arrosage sur un lit de coquilles d'huîtres et de moules (Seine aval)

4/ DÉSODORISATION THERMIQUE

La désodorisation thermique permet de traiter par oxydation thermique des volumes d'air moindres, mais fortement concentrés. Ce procédé offre des performances excellentes, mais il est très coûteux. Il est peu utilisé en assainissement (un seul site du SIAAP : Seine aval pour le traitement des boues).

VI. Assainissement au SIAAP



1 Bassin de La Plaine à Saint-Denis : 165 000 m³
2 Bassin Proudhon à Paris : 17 000 m³
3 Complexe des Cormailles (bassin + puits) à Ivry-sur-Seine : 55 000 m³
4 Bassin d'Arcueil à Arcueil : 24 000 m³
5 Bassin EV3 de Vitry-sur-Seine : 55 000 m³
6 Bassin de L'Haÿ-les-Roses : 84 200 m³
7 Bassin d'Antony : 115 000 m³
8 Bassin des Brouillards à Dugny : 90 000 m³

A Tunnel-réservoir Ivry-Massena : 100 000 m³
B Tunnel-réservoir Ru de Châtenay : 34 500 m³
C Tunnel-réservoir Blagis-Cachan : 25 000 m³
D Liaison Cachan-Charenton : 110 000 m³

Figure 37 : Les ouvrages du SIAAP *(réseau, stockage, usines)*

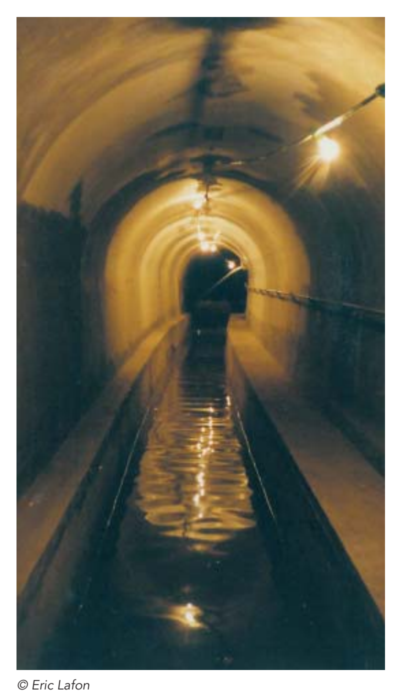


A. RÉSEAU DU SIAAP

1/ COLLECTEURS ET ÉMISSAIRES

Dans l'agglomération parisienne, les différentes catégories de réseaux ne sont pas gérées par les mêmes collectivités. La collecte (égouts, collecteurs secondaires) est assurée par les communes ou les syndicats intercommunaux, le premier niveau de transport (collecteurs principaux) par les départements, puis le transfert (collecteurs et émissaires) jusqu'aux stations d'épuration par le SIAAP.

Le SIAAP transporte chaque jour, par temps sec, 2,3 millions de mètres cubes d'eaux usées dans un réseau de **444 km de collecteurs et d'émissaires** pour les acheminer jusqu'à ses six stations d'épuration *(figures 37 et 38)*. Ces canalisations sont situées entre 3 et 100 m de profondeur. Pour garantir la sécurité du transport des eaux usées et celle des équipements urbains en surface, le SIAAP doit régulièrement inspecter, entretenir et nettoyer ce réseau.



© Eric Lafon

Figure 38 : Vue intérieure d'un collecteur et d'un émissaire du SIAAP
a. Collecteur des coteaux sous le boulevard Magenta (Paris)



b. Émissaire de Cachan (Sceaux)

© SIAAP

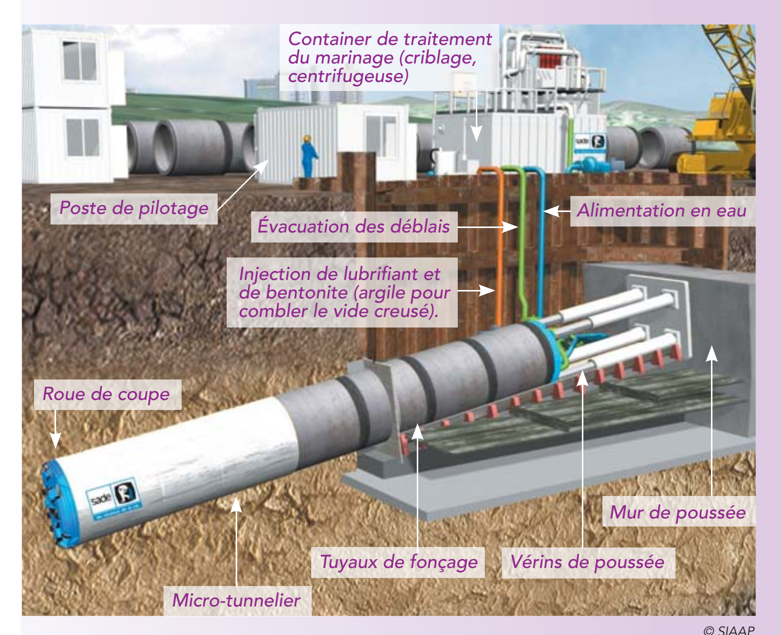
Dans certains cas, cette **fonction de transport** s'accompagne d'une dimension environnementale et symbolique. C'est le cas du collecteur secondaire permettant le doublement de la Bièvre, qui évite le rejet des eaux usées dans le cours de la rivière *(encadré ci-dessous)*.

Le doublement de la Bièvre

Dans le cadre du projet de réouverture de la Bièvre, rivière canalisée et enterrée dans sa partie aval (dans les Hauts-de-Seine) depuis le XIX[e] siècle, la qualité de l'eau doit, pour des raisons sanitaires et environnementales, être améliorée. Cela implique de mettre fin aux rejets d'eaux non traitées. La solution choisie a été d'installer, sur 1,9 km, une conduite souterraine parallèle à la Bièvre : le collecteur Doublement de la Bièvre. *Un collecteur et des égouts doublaient déjà le cours de la rivière jusqu'à Paris, mais ce n'était pas suffisant, notamment lors des travaux de maintenance de ces équipements (deux à cinq fois par an en moyenne) ; la Bièvre était alors utilisée pour les seconder. Les eaux usées sont désormais dirigées vers ce nouveau collecteur en lieu et place de la rivière.*

En raison de la densité de l'urbanisation et de la circulation en surface, les travaux ont été effectués en souterrain par un micro-tunnelier télécommandé et guidé par laser (figure 39). Le chantier a duré plus de deux ans entre 2009 et 2011 en raison de contraintes techniques. Le creusement de 18 puits au fur et à mesure de l'avancement du micro-tunnelier a été nécessaire. Ce dernier ne pouvant creuser qu'en ligne droite, son trajet a été divisé en tronçons rectilignes

(aujourd'hui, une légère courbure peut être obtenue avec ce type de matériel). À chaque tronçon, la machine a été descendue par un puits de travail, puis est ressortie à l'autre extrémité par un autre puits. À chaque fois, il a fallu descendre les segments du collecteur, les raccorder ensuite bout à bout, cela à raison de 8 à 9 m par jour.



© SIAAP

Figure 39 : Creusement à l'aide d'un micro-tunnelier
a. Schéma de fonctionnement



© Éric Lafon

b. Tête de tunnelier dans la galerie d'attaque du puits Masséna du tunnel réservoir Ivry-Masséna (TIMA)

Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> *La restauration de la Bièvre, une rivière "égout".*

2/ STATIONS DE POMPAGE

L'étendue et la topographie du territoire du SIAAP ne permet pas la mise en place d'un réseau intégralement gravitaire. Plusieurs sites de relevage et de refoulement sont donc disséminés en agglomération parisienne, notamment au sud-est de Paris, afin de permettre le transport des eaux usées jusqu'à leur destination. Le SIAAP gère une vingtaine de stations de pompage, dont la plupart sont des postes de relevage. La hauteur de relèvement des eaux varie entre 1 et 30 m selon les sites.

Certaines usines de traitement des eaux usées font aussi office de stations de relevage : Seine centre à Colombes (Hauts-de-Seine), Clichy (Hauts-de-Seine, *figure 40*), Charenton (Val-de-Marne). Mais on compte surtout des postes isolés, de moindre capacité : par exemple les stations de pompage de Pompadour à Créteil (Val-de-Marne), de Sésame à Valenton (Val-de-Marne), de Crosne (Essonne) .



© SIAAP

Figure 40 : Pompes d'un poste de relevage du SIAAP
(usine de prétraitement de Clichy)

3/ OUVRAGES DE STOCKAGE

Dans l'agglomération parisienne, le réseau d'assainissement est principalement unitaire ; il subit par conséquent d'importantes variations de débits en relation avec les précipitations. Afin d'éviter les risques associés d'inondation (notamment dans les communes très sensibles du sud-est parisien : comme Antony, Fresnes, L'Haÿ-les-Roses…) et les rejets d'eaux non traitées en Seine ou en Marne, le SIAAP s'est doté, depuis 1997, de **900 000 m³ de capacité de rétention d'eau** constitués de **quatre tunnels-réservoirs** et de **huit bassins de stockage** *(figure 37)*. Ces ouvrages stockent les eaux excédentaires durant les fortes précipitations, puis les redirigent vers les usines d'épuration après un retour météorologique à la normale.

On remarque que ces ouvrages sont principalement localisés à l'amont de Paris, en particulier dans le sud de Paris. Les caractéristiques topographiques et urbanistiques peuvent expliquer cette répartition. La vallée de la Bièvre, fortement creusée, a une altitude assez basse : elle constitue donc un réceptacle naturel pour les eaux de pluie. Ce dernier est cependant rapidement saturé. En outre, les égouts de ces secteurs de plus en plus urbanisés sont sous-dimensionnés, et en cas de fortes précipitations, ils ne permettent plus d'accueillir toute cette eau. La construction de ces structures de stockage permet de réguler la circulation de très grandes quantités d'eau.

Certains de ces bassins présentent des caractéristiques remarquables, à l'exemple des dimensions surprenantes du tunnel Ivry-Masséna *(encadré ci-dessous)* ou de l'implantation du bassin de La Plaine sous le terrain d'entraînement du Stade de France !

Le tunnel Ivry-Masséna

Situé en partie à Paris, le Tunnel-réservoir Ivry-MAsséna (TIMA) permet de connecter plusieurs tunnels et bassins de stockage ; constituant ainsi le plus grand ouvrage de stockage en Europe. Inauguré en 2009 après cinq années de travaux faisant appel à des techniques extrêmes, TIMA est une prouesse technologique et organisationnelle de par sa taille et sa localisation en pleine agglomération parisienne. Les eaux qu'il stocke sont ensuite renvoyées vers l'usine d'épuration Seine amont, à Valenton. TIMA est un complexe constitué de deux tunnels : TIMA 1 (tunnel de stockage) et TIMA 2 (tunnel de transport jusqu'à TIMA 1).

Longueur : 1,86 km
Diamètre maximum : 6,8 m
Capacité de stockage : 80 000 m³, soit l'équivalent d'1 million de baignoires !
Profondeur : 30 m



Figure 41 : Vue intérieure de TIMA (en construction)



4/ GESTION DES FLUX

Le SIAAP a mis en place un outil informatique qui permet de réguler vingt-quatre heures sur vingt-quatre le réseau d'assainissement de l'agglomération parisienne. Son acronyme est **MAGES, Modèle d'aide à la gestion des effluents du SIAAP.** Il est basé au siège du SIAAP à Paris *(figure 42)*. MAGES permet de coordonner l'action des différents acteurs de l'assainissement et d'optimiser en temps réel le fonctionnement du réseau. La supervision des flux transitant dans les réseaux et les stations d'épuration est d'autant plus utile en temps de pluie. Grâce à ses fonctions, ce logiciel permet d'éviter les inondations et de limiter les déversements d'eaux non traitées dans le milieu naturel.



Figure 42 : La salle de contrôle de MAGES

- Il recueille les **informations des différents acteurs de l'assainissement** (communes et syndicats de communes chargés de la collecte des eaux usées et pluviales, départements assurant leur transport jusqu'au réseau géré par le SIAAP) : débit de l'eau, état du réseau, fonctionnement des usines, etc. Il prend aussi en compte les **prévisions de Météo-France.**
- Il **analyse ces données en temps réel** et livre une "photographie" instantanée de la situation du réseau d'assainissement.
- **Outil de simulation,** il est capable d'élaborer en quinze minutes les scénarios les mieux adaptés en situation à risque (violent orage, dysfonctionnement d'un équipement, travaux d'entretien dans les réseaux) pour optimiser la gestion du réseau en fonction de la disponibilité des ouvrages et de la quantité d'eau qui circule dans le réseau du SIAAP.
- Enfin, il informe les exploitants des réseaux et des stations d'épuration et leur fournit des éléments de décision.

MAGES constitue un puissant outil d'aide à la décision. Désormais, les exploitants disposent de toutes les informations pour choisir, sur la portion qui leur incombe, d'actionner ou non les vannes, de rediriger les flux vers les ouvrages de stockage, de les retenir dans les réseaux pour retarder l'arrivée de débits trop importants dans les usines d'épuration.

B. USINES DU SIAAP

Pour mener à bien sa mission d'assainissement des eaux usées, le SIAAP possède et exploite neuf usines *(figure 37)*. **Trois** d'entre elles ont pour principale fonction d'assurer un **prétraitement** des eaux usées, notamment leur dessablage. Les **six autres**, des **stations d'épuration** réparties dans quatre départements autour de Paris, assurent la dépollution des eaux usées de l'agglomération parisienne par le biais de filières de traitement complètes mais différentes les unes des autres.

1/ USINES DE PRÉTRAITEMENT

• **Charenton-le-Pont** (Val-de-Marne)
C'est à la fois un **centre de prétraitement** qui reçoit les eaux brutes du sud-est de l'agglomération parisienne et une **station de relevage** qui envoie les eaux vers l'usine d'épuration de Seine amont, à Valenton.

• **Clichy** (Hauts-de-Seine)
C'est un **centre de prétraitement** (dégrillage et dessablage) des effluents des égouts de la ville de Paris, dont il reçoit 80 % des eaux usées, soit près de 1 000 000 m^3/jour, qu'il redirige ensuite vers les usines Seine centre, Seine aval et Seine Grésillons. L'usine de Clichy est aussi une **station de pompage anti-crues,** qui protège la capitale des inondations en temps de crue de la Seine en permettant l'évacuation dans le fleuve des eaux pluviales excédentaires.

• **La Briche à Épinay-sur-Seine** (Seine-Saint-Denis)
C'est un **centre de prétraitement** qui reçoit une grande partie des eaux de la Seine-Saint-Denis et du nord de Paris. La Briche est également un **centre de traitement des sables** issus de ce prétraitement et du curage des réseaux d'assainissement. Ces sables, environ 25 000 tonnes chaque année, peuvent être recyclés dans le cadre de travaux publics.

2/ USINES D'ÉPURATION

Les six usines d'épuration des eaux usées du SIAAP vont être présentées sous forme de fiches, dans l'ordre chronologique de leur mise en eau, avec quelques données clefs. La **durée de parcours de l'eau usée** dans l'usine est indiquée, avec le détail des différentes étapes de traitement. La légende ci-dessous permet d'interpréter les pictogrammes de couleur *(figure 43)*.



Figure 43 : Légende des différents procédés d'épuration des usines du SIAAP

SEINE AVAL (SAV) UN GÉANT DE L'ÉPURATION EN RECONSTRUCTION


© SIAAP

Figure 44 : Usine Seine aval



> Un géant de l'épuration pour l'agglomération parisienne



> L'histoire de la station d'Achères

- ***Localisation :*** Achères, Maisons-Laffitte, Saint-Germain-en-Laye (Yvelines)
- ***Destination des eaux épurées :*** la Seine
- ***Date de mise en service :*** 1940
- ***Superficie :*** 800 hectares
- ***Profil :*** la plus ancienne usine du SIAAP et la plus importante de France par le volume d'eau traité.
- ***Particularité :*** programme de modernisation étalé jusqu'en 2025, la "refonte de Seine aval", pour améliorer ses performances épuratoires et éradiquer les nuisances[48]. L'emprise au sol de l'usine va être réduite de 40 %, libérant 300 ha restitués à la Ville de Paris et 400 ha autour de la zone opérationnelle, qui deviendront une zone de transition constituant une réserve foncière.
- ***Rayon d'action :*** 70 % de l'agglomération parisienne (Paris, Hauts-de-Seine, Val-de-Marne et Seine-Saint-Denis), certaines communes des Yvelines et du Val-d'Oise.
- ***Population concernée :*** 5 millions d'habitants
- ***Capacité de traitement :*** 1 500 000 m³ d'eau/j, extensible à 2 300 000 m³/j par temps de pluie
- ***Performances épuratoires :***
  - MES : 91 %
  - carbone (DBO) : 91 %
  - azote (global NGL) : 70 %
  - phosphore (total) : 82 %
- ***Procédés mis en œuvre :***
  - **Eaux :** prétraitement, décantation physique, épuration biologique par boues activées, décantation physico-chimique et cultures fixées ;
  - **Boues :** digestion, épaississement, conditionnement thermique, déshydratation par filtration sous presse ; valorisation énergétique *(zoom)* et agronomique ou évacuation en centre d'enfouissement technique quand elles ne répondent pas aux normes en vigueur.
- ***Durée des traitements de l'eau :***



ZOOM

LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DU BIOGAZ

*À Seine aval, 60 % de la consommation énergétique sont autoproduits sur le site. Les 40 % restant sont importés : électricité, gaz naturel, fuel. Deux raisons principales conduisent le SIAAP à développer de multiples initiatives dans le domaine des énergies renouvelables et propres : le **coût des ressources fossiles** (pétrole, gaz, charbon) et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, responsables du **réchauffement climatique.** La substitution des produits d'origine fossile permet de réaliser une économie de 23 millions d'euros par an pour cette usine.*

*Pour tendre vers son **autonomie énergétique**, Seine aval a choisi de récupérer, de stocker et de valoriser le gaz produit durant le traitement des boues, plus précisément lors de la **digestion anaérobie.** La dégradation de la matière organique par des bactéries anaérobies entraîne la production de **biogaz** (figure 45), dont le principal constituant est le méthane (CH_4). Le biogaz offre deux types de valorisation énergétique :*

- ***électricité** produite mécaniquement par des turbines à gaz et consommée sur place ;*
- ***chaleur** récupérée sur les **turbines à gaz** (80 °C), produite par les **chaudières à eau** (80 °C) et **à vapeur** (180 °C) pour le conditionnement thermique des boues et le chauffage des locaux et des digesteurs.*

© SIAAP / Le Bar Floréal - E. Facon

Figure 45 : Sphère de stockage du biogaz *(Seine aval)*

48/ Pour plus d'information, consulter le site sur la refonte de Seine aval : www.seineavaldemain.siaap.fr

SEINE AMONT (SAM) DOUBLE CIRCUIT, DOUBLE TECHNICITÉ



© SIAAP

Figure 46 : Usine Seine amont

- ***Localisation :*** Valenton (Val-de-Marne)
- ***Destination des eaux épurées :*** la Seine
- ***Date de mise en service :*** 1987 et 1992 (capacité de 150 000 m³/j puis 300 000 m³/j) ; deuxième tranche en 2004
- ***Superficie :*** 70 ha
- ***Profil :*** deux circuits de traitement parallèles, construits à vingt ans d'intervalle : Seine amont 1 (1987) et Seine amont 2 (2004).
- ***Particularité :*** première usine du SIAAP à effectuer le traitement de l'azote par le principe des boues activées *(cf. III. C. cadre sur la pollution azotée page 38).*
- ***Rayon d'action :*** Val-de-Marne et vallée de la Bièvre (dont une partie de l'Essonne et des Yvelines), quelques communes de la Seine-Saint-Denis et de la Seine-et-Marne, et les eaux de pluie des ouvrages de stockage du sud-est parisien.
- ***Population concernée :*** 2,4 millions d'habitants
- ***Capacité de traitement :*** 800 000 m³ d'eau/j, extensible par temps de pluie à 1 500 000 m³, grâce à son unité de décantation accélérée (principe de clarifloculation) qui débarrasse en accéléré la fraction particulaire de la pollution
- ***Performances épuratoires :***

- MES :	98 %
- carbone (DBO) :	99 %
- azote (global NGL) :	70 %
- phosphore (total) :	86 %

- ***Procédés mis en œuvre :***
  - **Eaux :** prétraitement, décantation et épuration biologique par boues activées *(zoom)* ;
  - **Boues :** digestion, centrifugation, séchage thermique avec valorisation agronomique et incinération.
- ***Durée des traitements de l'eau :***







LA DÉPHOSPHATATION BIOLOGIQUE

La réglementation impose d'éliminer les phosphates afin de protéger les milieux aquatiques de l'eutrophisation. La ***déphosphatation physico-chimique*** *est la technique la plus répandue (cf. III. B. 2. page 33) mais elle présente des inconvénients, notamment la production de volumes importants de boues et une forte consommation de réactifs.*

Des recherches ont donc été menées sur la ***déphosphatation biologique****, qui ne présente pas les inconvénients de la technique précédente (cf. III. C. cadre sur la pollution phosphorée page 38). Elle fait intervenir successivement deux types de bactéries : des* ***bactéries anaérobies*** *qui relarguent des orthophosphates leur permettant de stocker plus d'énergie dans la cellule, et des* ***bactéries aérobies*** *qui réabsorbent ces phosphates, ainsi qu'une quantité de phosphore supplémentaire. La biomasse est donc exposée à une alternance de phases anaérobies et aérobies, ce qui favorise la croissance de bactéries capables d'accumuler des phosphates.*

Lors de la mise en place de la deuxième tranche de Seine amont en 2004, il a été décidé de procéder à l'élimination du phosphore par voie biologique (figure 47). En ce qui concerne la première tranche, une déphosphatation tertiaire physico-chimique a été mise en place pour répondre à la réglementation.

© SIAAP

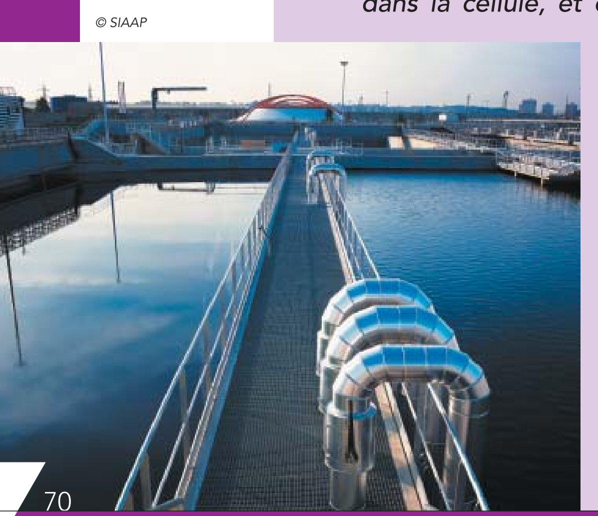


Figure 47 : Bassin de déphosphatation biologique *(Seine amont)*



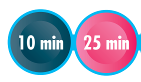
© SIAAP

SEINE CENTRE (SEC) LA PREMIÈRE USINE NOUVELLE GÉNÉRATION

Figure 48 : Usine Seine centre

- ***Localisation :*** Colombes (Hauts-de-Seine)
- ***Destination des eaux épurées :*** la Seine
- ***Date de mise en service :*** 1998
- ***Superficie :*** 4 ha
- ***Profil :*** usine présentant des techniques d'assainissement qui offrent d'excellentes performances épuratoires et une durée de parcours de l'eau dans l'usine très courte.
- ***Particularité :*** conception architecturale novatrice pour la première usine du SIAAP à être compacte et entièrement couverte pour éviter les nuisances.
- ***Rayon d'action :*** l'ouest de Paris et de l'agglomération parisienne.
- ***Population concernée :*** 1 million d'habitants
- ***Capacité de traitement :*** 240 000 m³ d'eau/j, doublée par temps d'orage
- ***Performances épuratoires :***

- MES :	98 %
- carbone (DBO) :	97 %
- azote (global NGL) :	70 %
- phosphore (total) :	94 %

- ***Procédés mis en œuvre :***
  - **Eaux :** prétraitement, décantation physico-chimique et épuration biologique sur cultures fixées ;
  - **Boues :** flottation, centrifugation et incinération *(zoom).*
- ***Durée des traitements de l'eau :***  



LE TRAITEMENT DES FUMÉES RÉSULTANT DE L'INCINÉRATION DES BOUES

*À Seine centre, **60 à 80 t de matière sèche** sont incinérées chaque jour, produisant **15 à 20 t de cendres.** L'usine compte quatre lignes d'incinération. Chaque ligne comprend une suite d'équipements, dont le premier est un **four à lit fluidisé** (cf. chapitre IV et figure 33 p. 57). Les **cendres** produites par la combustion et emportées avec les fumées doivent être piégées. Le **dépoussiérage des fumées** est assuré par des **dépoussiéreurs électrostatiques** (ou **électrofiltres**). Les cendres récupérées sont soit valorisées comme matière première, soit conduites vers des ISDD.*

*La température des **fumées** est modifiée à plusieurs reprises par le biais de différents **échangeurs** (gaz/gaz, eau/fumée, etc.) afin de s'adapter aux contraintes thermiques. Elles sont tout d'abord refroidies avant leur lavage.*

*Le traitement est ensuite complété par un passage dans deux **tours humides** (une acide et une basique). En abaissant la température au-dessous de 100 °C (70 °C), une grande partie de la vapeur est condensée, ce qui permet de capter le résiduel d'acides (chlorhydrique, fluorhydrique), de réduire la teneur en dioxyde de soufre (gaz malodorant) et de piéger des métaux (dont le mercure). Des **filtres à manches** permettent d'éliminer les poussières résiduelles contenues dans les fumées. Un **traitement catalytique** final permet d'éliminer les oxydes d'azote.*

*Le lavage des eaux de lavage des fumées produit un deuxième type de déchet en quantité moindre : les **REFIOM** (Résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères), contenant notamment les métaux issus des tours humides et également évacués vers des ISDD.*

*Avant leur rejet dans l'atmosphère par une **cheminée**, les **fumées épurées** sont réchauffées. La formation de panaches, constitués de gouttelettes d'eau, est ainsi visuellement minimisée.*

© SIAAP



Figure 49 : Fours d'incinération des boues de nuit *(Seine centre)*



SEINE GRÉSILLONS (SEG) LE FUTUR EN MARCHE



Figure 50 : Usine Seine Grésillons

- ***Localisation :*** Triel-sur-Seine (Yvelines)
- ***Destination des eaux épurées :*** la Seine
- ***Date de mise en service :*** 2008 pour SEG 1 - 2012 pour SEG 2
- ***Superficie :*** 27 ha
- ***Profil :*** usine ayant mis en place l'automatisation de ses processus *(zoom)*. Elle présente par ailleurs un très haut niveau d'élimination des pollutions, une grande maîtrise des risques de nuisances olfactives et sonores et l'intégration environnementale de ses bâtiments a été favorisée.
- ***Particularité :*** à 500 m de la Seine, zone humide d'intérêt ornithologique de 5 ha aménagée au titre des mesures compensatoires.
- ***Rayon d'action :*** une partie de l'agglomération parisienne et 17 communes du Val-d'Oise et des Yvelines (Aigremont, Andrésy, Beauchamp, Bessancourt, Boisemont, Carrières-sous-Poissy, Chanteloup-les-Vignes, Franconville, Maurecourt, Médan, Montigny-lès-Cormeilles, Orgeval, Pierrelaye, Poissy, Taverny, Triel-sur-Seine, Villennes-sur-Seine).
- ***Population concernée :*** 1 million d'habitants.
- ***Capacité de traitement :*** 300 000 m^3 d'eau/j (100 000 pour SEG1 - 200 000 pour SEG2)
- ***Performances épuratoires :***
  - MES : 97 %
  - carbone (DBO) : 94 %
  - azote (global NGL) : 82 %
  - phosphore (total) : 92 %
- ***Procédés mis en œuvre :***
  - **Eaux :** prétraitement, décantation physico-chimique et épuration biologique sur cultures fixées ;
  - **Boues :** digestion et séchage thermique permettant la valorisation agricole ou énergétique.
- ***Durée des traitements de l'eau :***






Pour aller plus loin :
SCIENCES DE LA VIE

> Gestion des espaces verts et naturels du SIAAP

ZOOM

LE SYSTÈME DE GESTION AUTOMATISÉE

Pour permettre l'exploitation de l'usine Seine Grésillons sur cinq jours par semaine avec deux équipes, un système de gestion automatisée très perfectionné a été mis en place. L'usine est équipée de capteurs (représentant 4 500 points et 25 000 variables) et d'automates de pilotage reliés au système centralisé de contrôle de commande (la supervision, figure 51).

Ainsi, l'usine peut être pilotée de manière automatique sans présence humaine. La nuit et le week-end, Seine Grésillons fonctionne avec deux agents d'astreinte à leur domicile. En cas de déclenchement d'une alerte, ils sont prévenus automatiquement par appel téléphonique.

Le système de supervision de l'usine peut, pour la première fois dans le secteur de l'eau, être piloté par Wifi sécurisé à partir d'un ordinateur portable. Les ordres concernant les opérations d'exploitation et de maintenance sont transmis aux automates sans manœuvre ni manipulation de boutons.

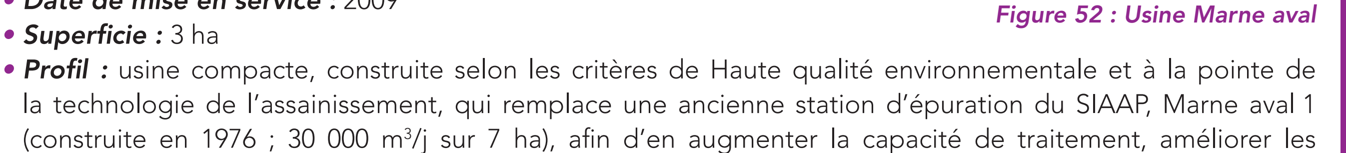
***Figure 51 : Centre de gestion automatisée** (Seine Grésillons)*

MARNE AVAL (MAV)
HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE ET HAUTE TECHNOLOGIE

© SIAAP / Le Bar Floréal - L. Tura

Figure 52 : Usine Marne aval

- ***Localisation :*** Noisy-le-Grand (Seine-Saint-Denis)
- ***Destination des eaux épurées :*** la Marne
- ***Date de mise en service :*** 2009
- ***Superficie :*** 3 ha



- ***Profil :*** usine compacte, construite selon les critères de Haute qualité environnementale et à la pointe de la technologie de l'assainissement, qui remplace une ancienne station d'épuration du SIAAP, Marne aval 1 (construite en 1976 ; 30 000 m³/j sur 7 ha), afin d'en augmenter la capacité de traitement, améliorer les performances épuratoires et réduire les nuisances olfactives et sonores pour les riverains.
- ***Particularité :*** seule station d'épuration du SIAAP rejetant dans la Marne et mise en place d'un traitement tertiaire.
- ***Rayon d'action :*** 16 communes de Seine-Saint-Denis et de Seine-et-Marne (Brou-sur-Chantereine, Champs-sur-Marne, Chelles, Coubron, Courtry, Gagny, Gournay-sur-Marne, Le Pin, Le Raincy, Montfermeil, Neuilly-sur-Marne, Noisy-le-Grand, Neuilly-Plaisance, Rosny-sous-Bois, Vaires-sur-Marne, Villemomble).
- ***Population concernée :*** 300 000 habitants
- ***Capacité de traitement :*** 75 000 m³/j par temps sec et 100 000 m³/j par temps de pluie
- ***Performances épuratoires :***
  - MES : 97 %
  - carbone (DBO) : 98 %
  - azote (global NGL) : 86 %
  - phosphore (total) : 94 %
- ***Procédés mis en œuvre :***
  - **Eaux :** prétraitement, décantation physico-chimique, biofiltration, déphosphatation tertiaire et désinfection par ultra-violets ;
  - **Boues :** épaississement et incinération *(zoom)*.
- ***Durée des traitements de l'eau :***









2h35



LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE PAR TRAITEMENT THERMIQUE DES BOUES

*Dans le contexte très urbanisé de l'usine Marne aval, le traitement des boues par **incinération** a été retenu pour ces avantages :*
- *absence d'odeurs et de bruits ;*
- *faible volume de cendres à évacuer, ce qui réduit les transports et donc les rejets de gaz à effet de serre ainsi que les nuisances pour les riverains.*

*Après mélange, épaississement et déshydratation, les boues sont détruites par **oxydation thermique** dans un **four à lit de sable fluidisé** (figure 53). Les **fumées** sont évacuées après dépoussiérage, piégeage et neutralisation des gaz acides et des traces de métaux lourds, et annihilation des oxydes d'azote par catalyse. À la sortie du traitement des fumées, des analyseurs mesurent en continu la qualité des rejets.*

*Autre avantage, l'incinération requiert très **peu d'énergie**. Une fois le four préchauffé, la combustion s'autoalimente avec les boues qui y sont brûlées. Enfin, **la chaleur** dégagée est récupérée par un échangeur qui la transforme en vapeur, permettant de chauffer des locaux de l'usine et de faire tourner une turbine qui fournit de l'électricité.*

© SIAAP / Le Bar Floréal



***Figure 53 : Installation d'un four à lit de sable fluidisé** (Marne aval)*

SEINE MORÉE (SEM) L'ÉCO-USINE



© Degrémont

Figure 54 : Usine Seine Morée
(vue en image de synthèse)

- ***Localisation :*** Le Blanc-Mesnil (Seine-Saint-Denis)
- ***Destination des eaux épurées :*** la Morée (affluent indirect de la Seine)
- ***Date de mise en service :*** 2013
- ***Superficie :*** 2,5 ha
- ***Profil :*** la plus petite des usines du SIAAP, une conjuguaison de nombreux critères de développement durable (conception architecturale et paysagère, énergies renouvelables, récupération d'eau de pluie, réouverture de la rivière de la Morée sur le site de l'usine).
- ***Particularité :*** une boucle de synergie industrielle publique inédite avec le Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères (SYCTOM[49]) pour le traitement et la valorisation simultanés des boues d'épuration et des biodéchets, traitement par méthanisation dans l'usine commune SIAAP/ SYCTOM, voisine de Seine Morée, et retour des eaux résiduaires à Seine Morée pour y être dépolluées.
- ***Rayon d'action :*** 6 communes (Aulnay-sous-Bois, Le Blanc-Mesnil, Sevran, Tremblay, Vaujours et Villepinte) et une partie de l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle.
- ***Population concernée :*** 200 000 habitants
- ***Capacité de traitement :*** 52 000 m³ d'eau/j par temps sec et de 76 500 m³ d'eau/j par temps de pluie
- ***Performances épuratoires :***
  - MES : 99 %
  - carbone (DBO) : 95 %
  - azote (global NGL) : 70 %
  - phosphore (total) : 95 %
- ***Procédés mis en œuvre :***
  - **Eaux :** prétraitement, décantation, tamisage, épuration biologique par boues activées avec déphosphatation biologique et séparation membranaire *(zoom)* ;
  - **Boues :** digestion avec les biodéchets et production d'un compost pour l'agriculture et valorisation de l'énergie pour l'extérieur et les besoins propres de l'usine.
- ***Durée des traitements de l'eau :***



Pour aller plus loin : **GÉOGRAPHIE**

> L'usine Seine Morée, un éco-projet

Pour aller plus loin : **SCIENCES DE LA VIE**

> La restauration de cours d'eau "égouts", la Morée



LES MEMBRANES D'ULTRAFILTRATION

*L'objectif de la **filtration membranaire** est de répondre aux contraintes de traitement imposées par les directives européennes (notamment la Directive cadre sur l'eau), mais aussi aux contraintes liées à l'exiguïté du site. Ce procédé remplace la clarification conventionnelle des boues activées, et donc, permet de gagner de l'espace.*

*Le système est constitué de filaments creux en matière synthétique (figure 55), percés d'une multitude de trous, pour une surface totale de filtration de 97 000 m². Le **diamètre des pores** tient de l'infiniment petit : 0,000035 mm, soit près de 3 000 fois inférieur à celui d'un cheveu. L'ultrafiltration peut retenir les microparticules dont la taille est comprise entre 0,1 et 1 µm, ce qui correspond à la taille des colloïdes, des macromolécules, des bactéries et de certains virus. L'eau en sortie des membranes répond à la qualité bactériologique de la directive eau de baignade de 2006.*



Figure 55 : Membranes d'ultrafiltration

© Degrémont (Ultrafor)

49/ Le SYCTOM, l'agence métropolitaine des déchets ménagers, est un syndicat intercommunal qui traite et valorise les déchets ménagers de 5,7 millions d'habitants de 84 communes adhérentes de l'agglomération parisienne.

C. PRÉSENTATION D'UNE FILIÈRE COMPLÈTE : L'EXEMPLE DE L'USINE SEINE CENTRE

Afin de mieux appréhender l'enchaînement de tous les procédés évoqués précédemment, il est intéressant d'observer la filière globale de traitement des eaux usées d'une station d'épuration. Même si les équipements varient, les procédés mis en œuvre lors du prétraitement et du traitement primaire sont globalement similaires. L'étape de traitement tertiaire demeurant exceptionnelle, c'est la nature du traitement secondaire qui différencie principalement les stations d'épuration. Les techniques et la filière de valorisation des boues d'épuration sont également très variées. Parmi les six usines du SIAAP, nous avons choisi de vous présenter schématiquement la filière globale de traitement des eaux et des boues, ainsi que la désodorisation dans la station d'épuration Seine centre à Colombes (92).

• *Contexte*

Au début des années 1990, 80 % des eaux usées de l'agglomération parisienne sont épurées au sein de l'usine Seine aval. Les populations riveraines de cette station d'épuration hors norme se plaignent des nuisances olfactives. Le SIAAP envisage donc une **décentralisation de ses moyens d'épuration** afin, notamment, de délester cette usine. Une réflexion est engagée autour de trois axes principaux :
- la réduction ou l'élimination des nuisances ;
- la révision des objectifs de traitement pour la protection du milieu récepteur prenant en compte l'évolution de la législation (directives européennes) ;
- la réduction des flux de pollution déversés par temps de pluie.

Le SIAAP décide de **construire trois nouvelles stations d'épuration :**
- une à Colombes (Seine centre) ;
- une en aval de Seine aval (Seine Grésillons) ;
- une au nord-est de Paris (Seine Morée).



> Repères chronologiques des stations d'épuration du SIAAP

La localisation de la station d'épuration de Colombes, implantée entre Paris et Seine aval, est justifiée par l'existence d'un **site en bord de Seine déjà affecté à des activités d'assainissement depuis un siècle.** Propriété de la Ville de Paris, il comprend une usine de pompage, un centre de recherche, une petite station d'épuration expérimentale et un laboratoire d'analyse des eaux. De plus, il est desservi par l'émissaire général Clichy-Colombes. Il présente néanmoins de **fortes contraintes** dont découlent en partie les caractéristiques de la nouvelle usine :
- la proximité de secteurs résidentiels, d'activités industrielles et de loisirs ;
- la faible superficie disponible : 4 ha ;
- la présence d'une halle historique servant de station de pompage.

L'usine est remarquable à plus d'un titre en termes :
- de performances ;
- de conception architecturale, d'intégration dans le paysage et de prévention des nuisances sonores et olfactives ;
- de gestion des flux.

• *Performances*

Quelques années avant la construction de l'usine Seine centre, la Directive européenne eaux résiduaires urbaines *(DERU, voir encadrés pages 10 et 37)* impose aux agglomérations de plus de 15 000 habitants la mise en place d'un traitement secondaire des eaux usées avant la fin de l'année 2000. L'usine, mise en eau en **1998**, se doit donc d'épurer les eaux usées de Paris a un degré poussé, éliminant non seulement les matières en suspension et la pollution carbonée, mais aussi une forte proportion des pollutions azotées et phosphatées.

Sa situation au cœur d'un tissu urbain dense et la superficie réduite du terrain qu'elle occupe ont conduit au choix de la **biofiltration** pour le traitement secondaire des eaux usées. Pour les mêmes raisons, le procédé d'**incinération** des boues sur place a été privilégié, permettant d'éviter le transport par camions des boues transformées en engrais organiques vers les exploitations agricoles.

• *Conception*

Le terrain exigu a impliqué de concevoir une **station d'épuration compacte et sur plusieurs niveaux,** ce qui était un défi organisationnel. Une autre contrainte est liée à la présence à proximité immédiate de l'usine élévatoire de Colombes, construite en 1901. Témoin de l'architecture industrielle du XIXe siècle, la halle en briques est inscrite à l'Inventaire supplémentaire des monuments historiques. Aussi, l'usine Seine centre a dû être construite en grande partie sous le niveau du sol. L'emprise des installations est limitée à 2 hectares en superstructure, pour une hauteur comparable à celle de la halle. De plus la proximité des habitations a ammené à couvrir complètement l'usine pour éviter les nuisances olfactives et sonores. Seine centre est également dotée d'un système de lavage des fumées très performant.

D'un point de vue esthétique, la construction industrielle de Seine centre met en valeur sa technicité à travers une gigantesque façade vitrée qui donne sur les fours d'incinération des boues. De nouveaux espaces verts ont été implantés sur le site.


Pour aller plus loin :
HISTOIRE

> L'usine élévatoire de Colombes
La Cité de l'Eau et de l'Assainissement

• *Gestion des flux*

Enfin, Seine centre bénéficie d'une gestion des flux très performante. Elle permet d'absorber les surplus d'eau liés aux pluies d'orage, évitant ainsi les dégâts sur le milieu naturel. L'installation peut traiter par temps de pluie un débit instantané d'eau 3 à 4 fois supérieur à celui de temps sec. Par temps de pluie (fonctionnement de quelques heures lors d'épisodes pluvieux importants), afin d'accueillir un débit plus important, le traitement biologique se fait en une seule étape, et sur l'ensemble des filtres fonctionnant en parallèle ; ces derniers, alors, n'éliminent plus les nitrates formés par la transformation de l'azote ammoniacal.

Principe	Type d'équipements	Pollutions éliminées
PRÉTRAITEMENTS		
Dégrillage	• 4 grilles à râteau (espacement : 40 mm) • 4 grilles à peigne (espacement : 15 mm) • 6 tamis (espacement : 6 mm)	grossières
Dessablage	• 6 bassins rectangulaires combinés de dessablage/dégraissage	sables
Déshuilage	• reprise des sables par pont racleur • diffusion de microbulles d'air par pompes aératrices • reprise des graisses par pont racleur de surface	huiles, graisses, hydrocarbures
TRAITEMENTS PRIMAIRES		
Décantation lamellaire physico-chimique	• 9 décanteurs physico-chimiques : clarifloculation + décantation lamellaire • réactifs injectés : chlorure ferrique + polymères • déphosphatation physico-chimique sous forme de précipitation de sels métalliques	MES, phosphore
TRAITEMENTS SECONDAIRES (BIOLOGIQUES)		
Cultures fixées sur biofiltres	• 24 biofiltres à lit de billes d'argile (milieu aérobie)	carbone
	• 29 biofiltres à lit de billes de polystyrène (nitrification en milieu aérobie) • 12 biofiltres à lit de billes d'argile (post-dénitrification au méthanol en milieu anoxique)	azote
TRAITEMENT DES BOUES		
Épaississement	• 10 centrifugeuses (boues primaires et biologiques) • 4 flottateurs cylindro-coniques (eaux de lavage des biofiltres)	boues primaires et biologiques
Incinération	• 4 fours à lit fluidisé	
TRAITEMENT DES ODEURS		
Désodorisation chimique	• 4 tours de lavage	gaz odorants

Figure 56 : Équipements en place dans l'usine Seine centre

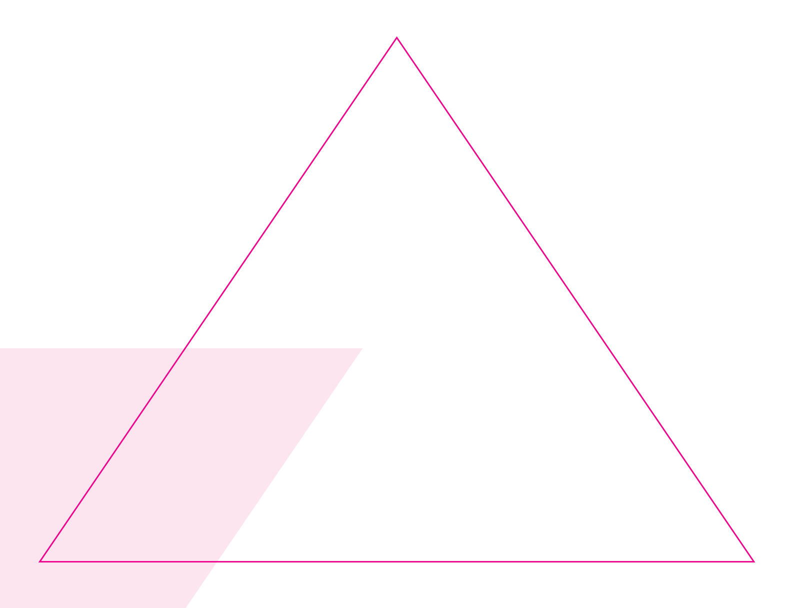


Figure 57 : Filières de traitement des eaux et des boues, et désodorisation de l'usine Seine centre

FILIÈRE ODEURS

Alimentation en air vicié

FILIÈRE EAU

Émissaire

PRÉTRAITEMENT

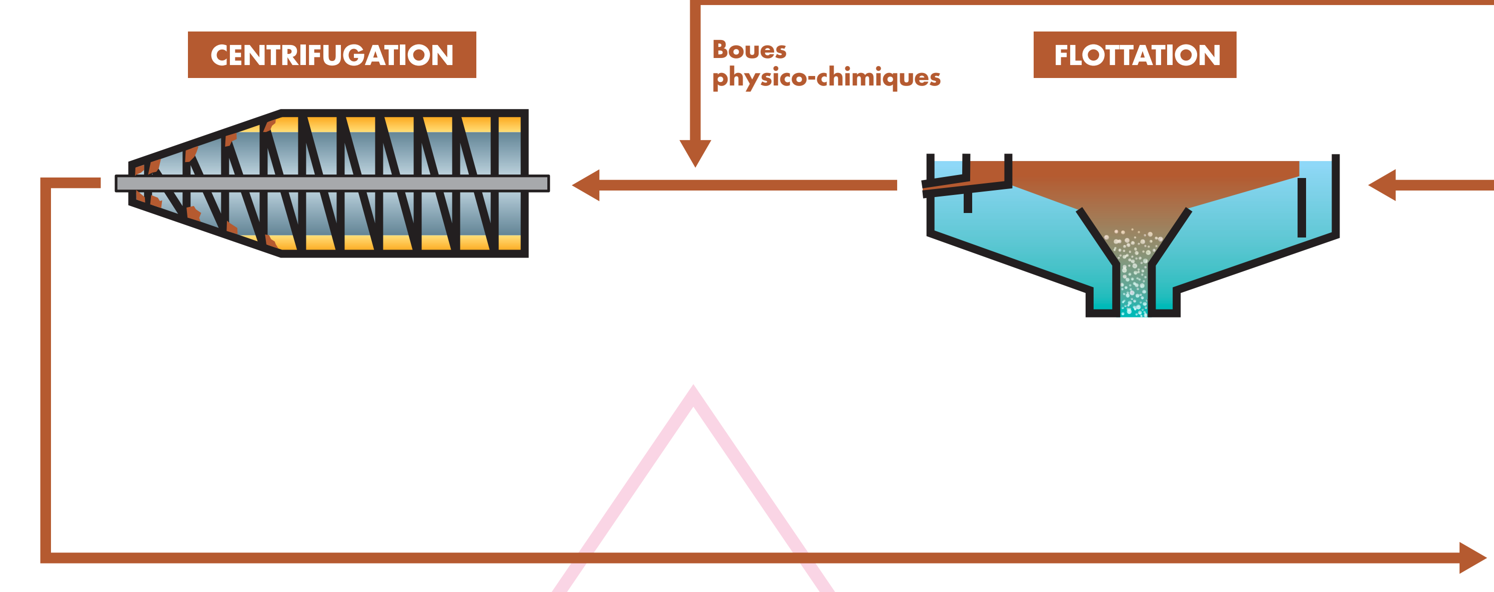
DÉCANTATION PHYSICO-

Dégrillage

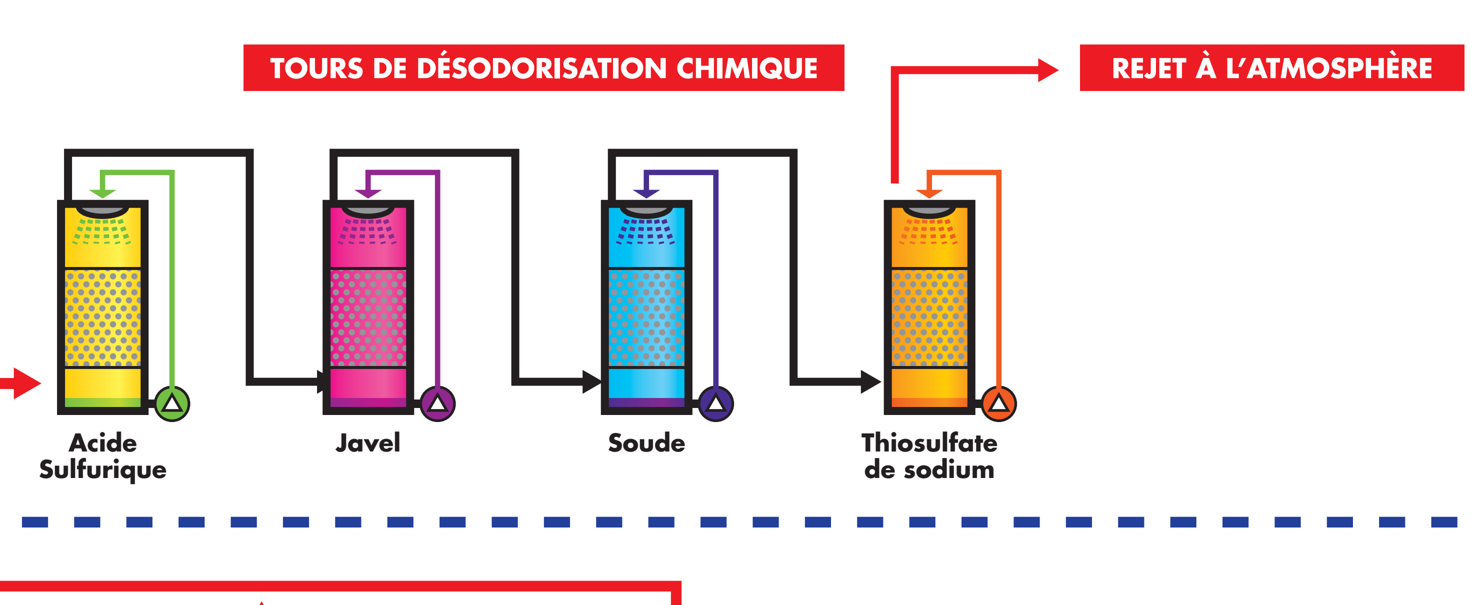
Dessablage-dégraissage

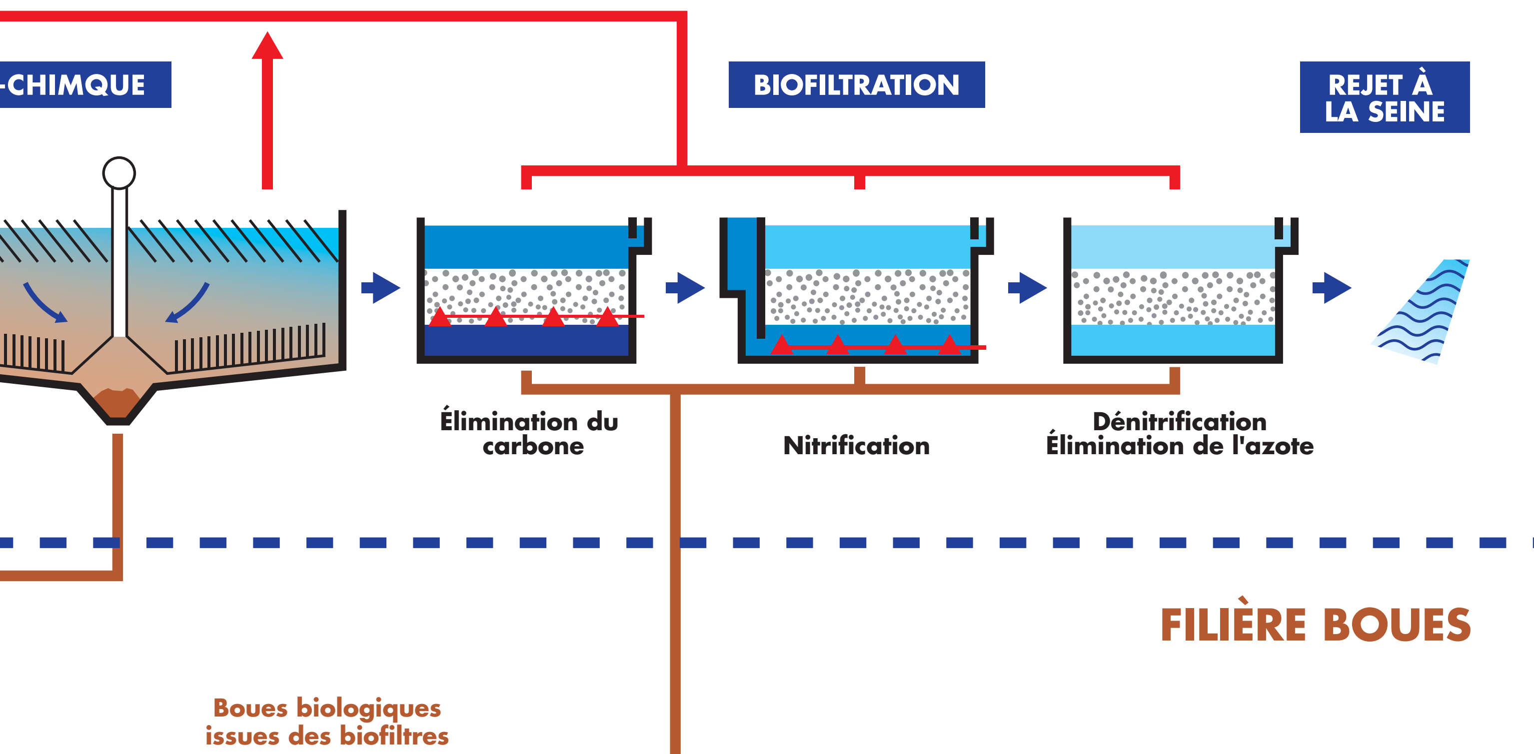
Tamisage

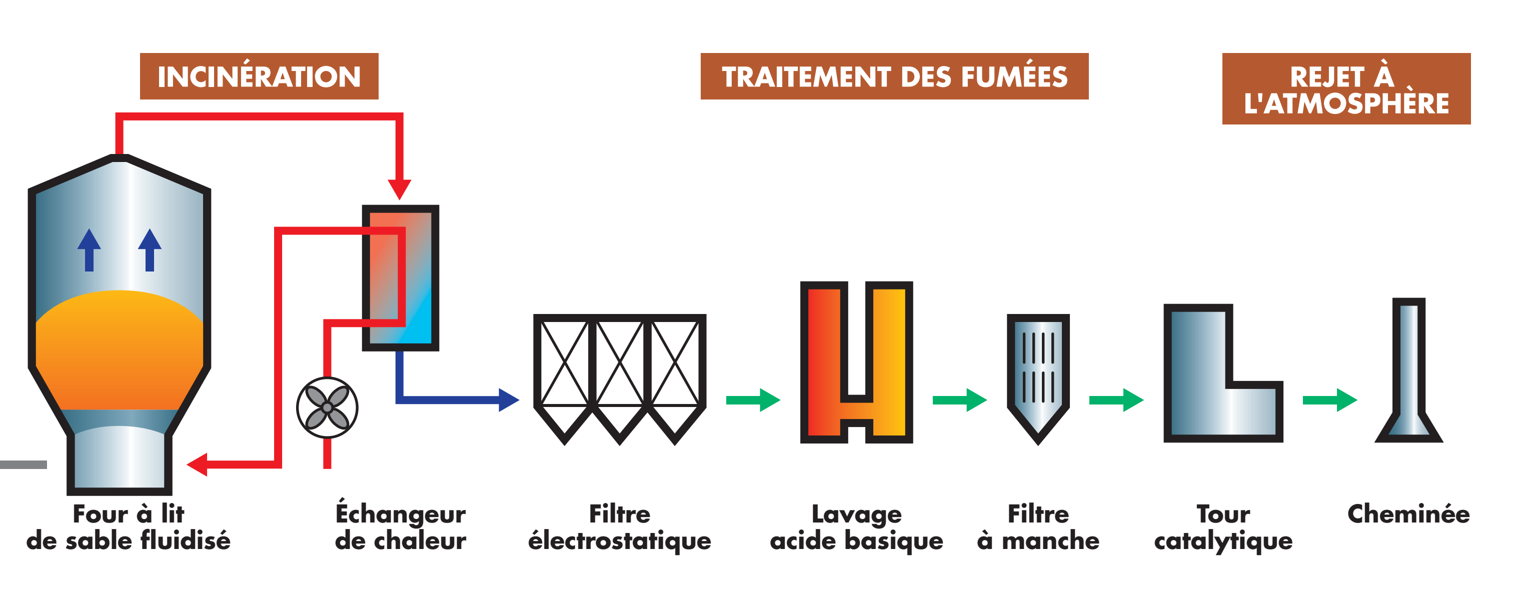
Élimination des matières en suspension et du phosphore



Valorisation ou élimination des cendres


TOURS DE DÉSODORISATION CHIMIQUE
REJET À L'ATMOSPHÈRE
Acide Sulfurique
Javel
Soude
Thiosulfate de sodium


-CHIMQUE
BIOFILTRATION
REJET À LA SEINE
Élimination du carbone
Nitrification
Dénitrification Élimination de l'azote
FILIÈRE BOUES
Boues biologiques issues des biofiltres


INCINÉRATION
TRAITEMENT DES FUMÉES
REJET À L'ATMOSPHÈRE
Four à lit de sable fluidisé
Échangeur de chaleur
Filtre électrostatique
Lavage acide basique
Filtre à manche
Tour catalytique
Cheminée

D. LA CONSTRUCTION D'UNE USINE DE TRAITEMENT AU SIAAP

Afin d'illustrer le gigantisme des usines du SIAAP, ce livret s'achève par la présentation des travaux titanesques mis en œuvre lors de la construction de nouveaux équipements d'épuration des eaux usées.

L'exemple de la construction des trois équipements DERU à Seine aval

En septembre 2011, Nathalie Kosciusko-Morizet, alors ministre de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement, est venue assister à la mise en eau de trois nouveaux équipements à l'usine d'épuration de Seine aval (78). Ces installations ont permis à l'usine de se mettre en conformité avec la Directive eaux résiduaires urbaines (DERU, cf. encadré page 10) en éliminant 70 % de la pollution azotée des eaux usées.
Ce chantier de très grande ampleur a nécessité la mobilisation de centaines de personnes, de milliers de tonnes de matériel et s'est échelonné sur plusieurs années. Afin de mieux rendre compte de ces travaux colossaux, voici quelques données représentatives.

- ***Planning :***
  - *- 5 mois d'études de conception*
  - *- 28 mois de travaux*
  - *- 5 mois de mise en route*
  - *- 12 mois de période d'observation*

- ***Travaux :***
  - *> terrassement :*
    - *- 450 000 m³ de terre déplacée (soit la surface de la cathédrale Notre-Dame de Paris sur 85 m de hauteur)* 1
  - *> ferraillage :*
    - *- 9 000 t d'acier (la tour Eiffel pèse 7 200 t)* 2
    - *- 1 000 inserts métalliques*
  - *> bétonnage :*
    - *- 70 000 m³ de béton (soit la surface d'un stade de rugby sur 10 m de hauteur)* 3
    - *- 11 000 toupies de béton*
  - *> réseaux extérieurs :*
    - *- 15 km de réseaux enterrés* 4
    - *- 600 m de carneaux* 5
  - *> réalisation :*
    - *- 17 grues* 6
    - *- 600 personnes sur le chantier*
    - *- 2 000 000 d'heures de travail*
    - *- 12 000 documents*

- ***Équipements :***
  - *- 1 600 km de câbles (soit un aller-retour Paris-Marseille)* 7
  - *- 1 400 moteurs* 8
  - *- 7 000 vannes* 9
  - *- 300 pompes* 10
  - *- 1 200 instruments de mesure* 11
  - *- 45 km de réseaux inox* 12
  - *- 21 ponts roulants*
  - *- 55 monorails*


1


2


3


4


5


6


7


8


9


10


11


12

Figure 58 : Construction des équipements DERU à Seine aval

Glossaire

AÉROBIE

Présence de dioxygène libre, qui accepte de l'hydrogène pour donner de l'eau. L'aérobie caractérise un milieu riche en dioxygène moléculaire.

ANAÉROBIE

Absence de dioxygène libre et de liaison minérale de l'oxygène. L'anaérobie caractérise un milieu exempt de dioxygène moléculaire et de nitrates.

ANOXIE

Absence de dioxygène libre, mais présence de liaisons minérales de l'oxygène, comme NO_3 ou SO_4, qui subissent une réduction chimique en cédant leur O. Milieu dans lequel l'absence de dioxygène moléculaire force certaines bactéries à utiliser l'oxygène des nitrates pour respirer.

ASSAINISSEMENT

Ensemble des techniques de collecte de transport et de traitement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel.

AUTOÉPURATION

Ensemble des processus naturels permettant à un milieu pollué de retourner à son état originel. L'action des micro-organismes en est le principal moteur.

BIOGAZ

Gaz produit par la fermentation de matières organiques, animales ou végétales, en l'absence d'oxygène ; il est composé essentiellement de méthane (CH_4, 65 %) et de dioxyde de carbone (CO_2, 35 %).

BOUES D'ÉPURATION

- **Boues activées :** technique de l'épuration biologique utilisant une forte concentration de micro-organismes épurateurs en cultures libres.
- **Boues à traiter :** résidus produits lors de différentes étapes de dépollution des eaux usées dans une station d'épuration (décantation primaire, clarification). Elles sont composées d'eau et de substances minérales et organiques. Ces boues subissent plusieurs traitements en vue de leur valorisation ou de leur élimination.
- **Boues primaires :** boues extraites au cours des traitements primaires (décantation).
- **Boues secondaires :** boues extraites au cours des traitements biologiques (ou secondaires), très riches en micro-organismes vivants.

CLARIFICATION

Étape de l'épuration biologique assurant la séparation de l'eau épurée et des boues activées par une décantation. L'eau peut alors être rejetée dans la rivière.

CLARIFLOCULATION

Décantation compacte associée à un traitement chimique permettant de diminuer le temps de traitement.

COLLOÏDE

Particule très fine qui ne décante pas naturellement.

COMPOSTAGE

Filière de valorisation des boues – reposant sur le mélange de boues déshydratées et de co-produits (déchets verts, ordures ménagères, etc.) – permettant d'obtenir un compost, par la transformation d'une partie de la matière organique (dégradée par des bactéries) en gaz carbonique, eau et matière minérale assimilable par les végétaux.

CUNETTE

Canal d'écoulement de l'eau usée, situé au fond du collecteur et entouré d'une ou deux banquettes de visite qui le surplombent.

DÉBÂTISSAGE

Action consistant à décoller et à faire tomber des plaques de boues déshydratées, appelées "gâteaux", serrées entre les plateaux d'un filtre-presse. Le débâtissage peut être manuel ou automatique, selon l'équipement en place.

DÉCANTATION PRIMAIRE

Technique physique qui permet d'éliminer les particules en suspension en les laissant se déposer dans un bassin, puis en les retirant à l'aide d'un racleur et d'une pompe. La technique devient physico-chimique si l'on utilise des réactifs pour rendre plus efficace le processus. Cette étape conduit à la production de boues.

DÉCHET ULTIME

Déchet qui ne peut plus être susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

DÉGRILLAGE

Première étape du prétraitement destinée à retenir les déchets volumineux au moyen de grilles.

DESSABLAGE

Étape du prétraitement destinée à retirer les sables et matières minérales lourdes déposées au fond du bassin.

DESHUILAGE (OU DÉGRAISSAGE)

Étape du prétraitement destinée à retirer les graisses remontées à la surface du fait de leur densité plus faible que celle de l'eau.

DIGESTEUR

Enceinte au sein de laquelle le procédé de méthanisation permet de produire du biogaz.

EAU ÉPURÉE

Eau débarrassée de ses diverses pollutions par un système d'assainissement. L'eau épurée est rejetée dans une rivière sans que cela nuise à l'écosystème, mais elle n'est pas potable.

EAU USÉE

Eau chargée de divers polluants après avoir été utilisée. Les eaux usées comprennent les eaux domestiques (douche, toilettes, vaisselle, lessive, etc.), industrielles et pluviales.

ÉGOUT

Le réseau public de collecte est l'appellation qui, depuis la loi sur l'eau de 2006, remplace le terme "égout". Il recueille les eaux usées d'une ville – eaux domestiques (ménagères et de toilettes), industrielles (parfois prétraitées) et eaux pluviales – et les évacue vers une station d'épuration. Il comprend les canalisations gérées par les communes (collectant les eaux des habitations) et les départements, les collecteurs (recueillant l'eau de ces canalisations) et les émissaires (recueillant l'eau des collecteurs). Les collecteurs et émissaires présentent des diamètres compris entre 2,5 et 6 m et sont situés à une profondeur pouvant atteindre 100 m.

ÉPANDAGE AGRICOLE

Action de disperser des produits sur des terres agricoles. Dans le contexte de l'assainissement, le terme désigne la pratique qui, aux XIXe et XXe siècles, consiste à utiliser les eaux usées pour irriguer et fertiliser des cultures ; désormais désormais, il s'agit principalement des boues d'épuration (déshydratées ou plus récemment séchées sous forme de granulés).

ÉPURATION BIOLOGIQUE

Étape permettant de supprimer les pollutions dissoutes par l'action des bactéries présentes naturellement dans les eaux usées. Deux classes de techniques sont employées : les cultures libres de bactéries (dites "boues activées") et les cultures fixées (sur un matériau support).

ÉQUIVALENT-HABITANT (EH)

Quantité moyenne de pollution produite par jour et par personne. Cette unité de mesure permet d'évaluer la capacité de traitement d'une station d'épuration. 1 EH = 60 g de DBO5 / jour.

EUTROPHISATION

Phénomène de prolifération algale ou végétale dans un milieu aquatique, affectant les usages de l'eau et la vie aquatique. Ce phénomène est imputable à l'enrichissement des eaux en éléments nutritifs (phosphates, nitrates).

LIXIVIAT

Liquide filtrant par percolation d'une eau à travers un matériau, désigne notamment les jus issus de déchets, de décharges ou de composts. On parle aussi de percolat.

MATIÈRE ORGANIQUE

Matière constitutive des êtres vivants, animaux ou végétaux, en vie ou en phase de décomposition.

MATIÈRES

- **décantables :** éléments suffisamment lourds pour se déposer au fond d'un récipient ;
- **dissoutes :** composés minéraux ou organiques solubles dans l'eau ;
- **en suspension (MES) :** éléments fins mêlés à l'eau sans avoir un impact ;
- **volatiles :** quantité de matière organique du résidu sec assimilée à la fraction organique des MES.

MICRO-ORGANISME

Organisme vivant microscopique.

MICROPOLLUANT

Substance qui, en raison de sa toxicité, de sa persistance et de sa bioaccumulation, est de nature à altérer les fonctions métaboliques des êtres vivants. Un micropolluant est susceptible d'avoir un impact à une concentration très faible. On distingue les micropolluants métalliques (inorganiques) et les micropolluants chimiques (organiques).

NUTRIMENTS

Éléments chimiques nécessaires à la croissance végétale. Leur excès dans un milieu aquatique provoque le phénomène d'eutrophisation.

PATHOGÈNE

De nature à provoquer une maladie.

POLLUANTS ÉMERGENTS

Polluants peu analysés et étudiés jusqu'à présent et dont les effets sur l'environnement et la santé humaine sont encore mal identifiés. Les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et phytosanitaires font partie de cette catégorie de polluants.

SICCITÉ

Pourcentage massique de matières sèches. La siccité des boues d'épuration est évaluée par la quantité de solide restant après un chauffage à 110 °C pendant deux heures. Une boue présentant une siccité de 5 % est caractérisée par une teneur en eau de 95 %.

STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES (STEU)

Ensemble d'équipements situés au débouché d'un réseau d'égouts et assurant la dépollution des eaux usées avant leur rejet dans un cours d'eau, un lac ou un océan. Une station de traitement des eaux usées, communément appelée "station d'épuration", implique différents procédés de traitement physico-chimiques et biologiques pour extraire les divers polluants contenus dans les eaux : dégrillage, dessablage, déshuilage, décantation, épuration biologique, clarification. Le traitement des produits de l'épuration (principalement les boues) et des odeurs est également intégré.

TRAITEMENT DES BOUES

Ensemble des processus physiques, thermiques, chimiques et biologiques qui modifient les caractéristiques des boues de manière à en réduire les nuisances, le volume et la part d'eau, à en faciliter la manipulation et dans la mesure du possible, à en favoriser la valorisation.

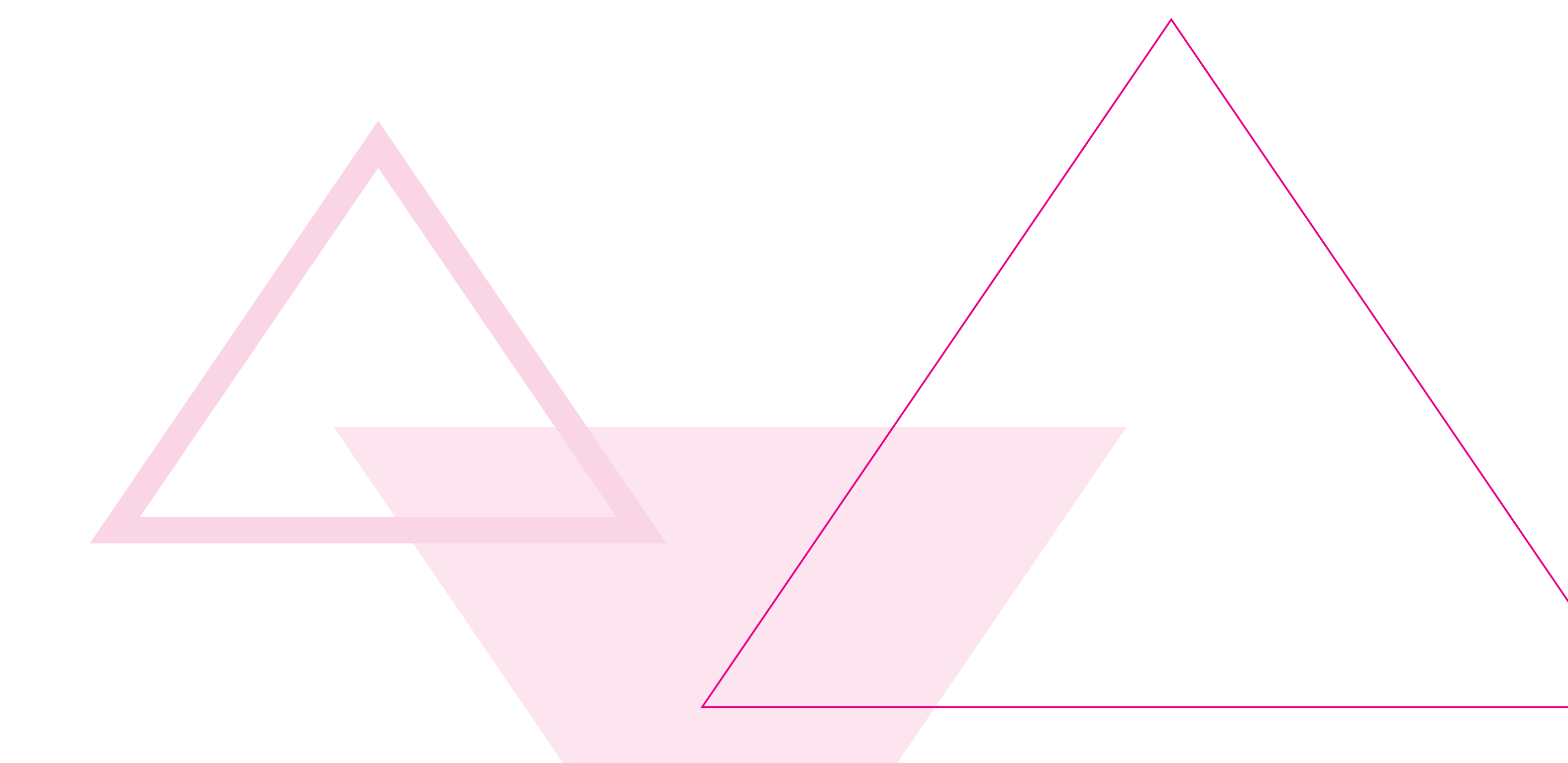


Table des illustrations

I. CADRE GÉNÉRAL DE L'ASSAINISSEMENT

A. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE ET GÉOGRAPHIQUE

B. ORIGINE ET CARACTÉRISATION DES EAUX USÉES

II. COLLECTE ET TRANSPORT DES EAUX USÉES

A. CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

B. DESCRIPTION DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

III. TRAITEMENT DES EAUX USÉES

A. PRÉTRAITEMENTS

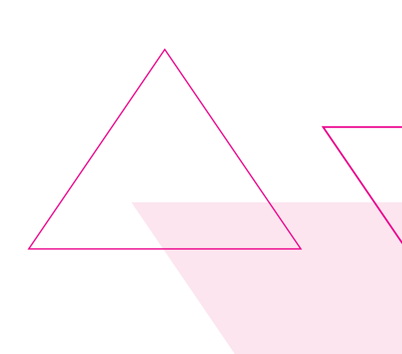
B. DÉCANTATION PRIMAIRE

C. TRAITEMENTS SECONDAIRES

B. USINES DU SIAAP

C. PRÉSENTATION D'UNE FILIÈRE COMPLÈTE : L'EXEMPLE DE L'USINE SEINE CENTRE

D. LA CONSTRUCTION D'UNE USINE DE TRAITEMENT AU SIAAP



AUTEURS :

- **Clotilde Marcel et Francis Pastor.**

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :

- **Catherine Paffoni** (responsable du service "expertise et prospective – process et milieu naturel" à la Direction du développement et de la prospective du SIAAP)
- **Michel Gousailles** (Directeur général adjoint du SIAAP chargé de la prospective).

RETROUVEZ LES AUTRES LIVRETS DANS LA MÊME COLLECTION







Service de médiation pédagogique
mediation-citedeleau@siaap.fr
Tél : 01 41 19 53 52

www.siaap.fr
www.ecole.siaap.fr - La Cité de l'Eau et de l'Assainissement

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien
www.siaap.fr

Image & Stratégie Europe - Mars 2013 - Document imprimé sur un papier éco-géré pour l'environnement. Imprimeur certifié IMPRIM'VERT®